



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**TESIS**

**TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR  
DETERGENTES CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO  
PARA REDUCIR SU TOXICIDAD SOBRE (*Daphnia pulex*)  
PULGA DE AGUA**

**PRESENTADA POR:**

**Br. YOVANA PALAO MAMANI**

**ASESOR:**

**Mgr. LILIA MARY MIRANDA RAMOS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2022**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción de la realidad problemática	3
1.2. Definición del problema	5
1.3. Objetivos de la investigación	6
1.4. Justificación y limitaciones de la investigación	6
1.5. Variables	8
1.6. Hipótesis de la investigación	9
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	18
2.3. Marco conceptual	30
III. MÉTODO	32
3.1. Tipo de investigación	32
3.2. Diseño de investigación	33
3.3. Población y muestra.	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	35
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	42
IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	49
4.1. Presentación de resultados por variables.	49
4.2. Contrastación de hipótesis.	70
4.3. Discusión de resultados.	74
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1. Conclusiones	79
5.2. Recomendaciones	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	86

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 01.	09
Tabla 02.	23
Tabla 03.	24
Tabla 04.	24
Tabla 05.	38
Tabla 06.	41
Tabla 07.	41
Tabla 08.	42
Tabla 09.	45
Tabla 10.	49
Tabla 11.	50
Tabla 12.	51
Tabla 13.	52
Tabla 14.	53
Tabla 15.	54
Tabla 16.	55
Tabla 17.	56
Tabla 18.	57
Tabla 19.	58
Tabla 20.	59
Tabla 21.	60
Tabla 22.	61
Tabla 23.	62
Tabla 24.	63
Tabla 25.	64
Tabla 26.	65
Tabla 27.	66
Tabla 28.	67
Tabla 29.	68
Tabla 30.	68

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 01.	34
Figura 02.	36
<i>Figura 02.</i>	38
<i>Figura 04.</i>	40
<i>Figura 05.</i>	69
<i>Figura 06.</i>	94
<i>Figura 07.</i>	94
<i>Figura 08.</i>	95
<i>Figura 09.</i>	95
<i>Figura 10.</i>	96
<i>Figura 11.</i>	96

## RESUMEN

El estudio tuvo el objetivo de evaluar el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado para reducir su toxicidad sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua. La metodología se realizó mediante un estudio experimental analizando los parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de ser tratada con un filtro de carbón activado, la evaluación de toxicidad se realizó mediante bioensayos con tres detergentes (Ace, Ariel, Patito), el análisis estadístico fue mediante análisis de varianza y regresión probit para calcular las concentraciones letales medias (CL<sub>50</sub>). Los resultados fueron: el tratamiento de aguas con detergentes mediante filtro de carbón activado, demostró ser eficiente: el pH se redujo de 10.51 a 10.1 unidades, la conductividad eléctrica se redujo de 1217.06 a 502.727  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la dureza total fue reducida de 478.776 a 168.133 mg/L, los cloruros disminuyeron de 16618.667 a 11666.733 mg/L, los sólidos totales disueltos disminuyeron de 615.667 a 263.4 mg/L, la alcalinidad y sulfatos no redujeron sus concentraciones con el tratamiento del filtro. La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado, fue determinada para el detergente Ace en 44.16 ml, Ariel con 52.71 ml y Patito 38.31 ml, estas son las concentraciones cuya letalidad se expresaría en la mortalidad de 50% de la población de individuos de *Daphnia pulex*. La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre el organismo de prueba, luego de ser tratadas con un filtro de carbón activado, fue determinada para el detergente Ace en 108.65 ml, Ariel con 99.22 ml y Patito 103.84 ml, estas son las concentraciones cuya letalidad se expresaría en la

mortalidad de 50% de la población de individuos del organismo de prueba, la reducción de toxicidad mediante el filtro de carbón activado fue de 2 veces para Ace y Ariel, para Patito la reducción fue 3 veces. Conclusión: mediante el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado, se consiguió reducir su toxicidad sobre *Daphnia pulex* (pulga de agua), elevando la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de los tres detergentes evaluados (Ace, Ariel y Patito).

Palabras clave: bioensayo, concentración letal, detergentes, toxicidad.

## ABSTRACT

The study aimed to evaluate the treatment of water contaminated by detergents with activated carbon filter to reduce its toxicity on (*Daphnia pulex*) water flea. The methodology was carried out through an experimental study analyzing the physicochemical parameters of the water before and after being treated with an activated carbon filter, the toxicity evaluation was carried out through bioassays with three detergents (Ace, Ariel, Patito), the statistical analysis was using analysis of variance and probit regression to calculate the mean lethal concentrations (LC<sub>50</sub>). The results were: the water treatment with detergents using an activated carbon filter, proved to be efficient: the pH was reduced from 10.51 to 10.1 units, the electrical conductivity was reduced from 1217.06 to 502.727  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , the total hardness was reduced from 478.776 at 168,133 mg/L, chlorides decreased from 16618,667 to 11666,733 mg/L, total dissolved solids decreased from 615,667 to 263.4 mg/L, alkalinity and sulfates did not reduce their concentrations with filter treatment. The mean lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of the water with detergents on *Daphnia pulex*, before being treated with an activated carbon filter, was determined for the detergent Ace in 44.16 ml, Ariel with 52.71 ml and Duckling 38.31 ml, these are the concentrations whose Lethality would be expressed in the mortality of 50% of the population of *Daphnia pulex* individuals. The mean lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of the water with detergents on the test organism, after being treated with an activated carbon filter, was determined for the detergent Ace in 108.65 ml, Ariel with 99.22 ml and Duckling 103.84 ml, these are the concentrations whose lethality would be expressed in the mortality of 50% of the population of individuals of the test organism, the reduction of toxicity through the activated carbon filter was 2

times for Ace and Ariel, for Duckling the reduction was 3 times. Conclusion: by treating water contaminated by detergents with an activated carbon filter, it was possible to reduce its toxicity on *Daphnia pulex* (water flea), raising the mean lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of the three detergents evaluated (Ace, Ariel and Patito).

Keywords: bioassay, lethal concentration, detergents, toxicity.

## INTRODUCCIÓN

Cada vez más el ser humano va modificando el ambiente en que vive, entre uno de los aspectos que se ha observado en las últimas décadas, es el fuerte incremento en el uso de sustancias de limpieza, entre estas destacan los detergentes, que desde su síntesis química su producción se ha incrementado de manera significativa a nivel mundial, lo cual ha dado lugar al menor costo de estos productos y por lo mismo una utilización desmedida de los mismos, esta situación se ha hecho cada vez más problemática debido a que el uso de lavadoras automáticas se ha extendido a nivel mundial, las mismas que requieren una carga de detergente para cada lavado, por lo que gran parte de los detergentes van a desembocar directamente al servicio de alcantarillado y posteriormente al diferentes cuerpos de agua receptores (Perales *et al.* (1999), (Castiglioni, & Collins, 2010).

Toda esta situación problemática se evidencia en los cuerpos de agua naturales receptoras de estas aguas (mares, ríos, lagos, lagunas), evidenciándose por la formación de grandes volúmenes de espuma en la parte superficial de los cuerpos de agua indicados. Si bien esto solo es un síntoma de los verdaderos efectos perjudiciales de los detergentes en el agua, pues no solo causan la pérdida de la tensión superficial del agua, sino que por su misma composición química los mismos son tóxicos para diferentes formas de vida que componen los ambientes acuáticos (Chambi, 2018).

Sin embargo, las ciencias ambientales buscan soluciones a este tipo de problemas y entre ellos se encuentran los tratamientos de aguas contaminadas, mediante la utilización de diversos métodos, entre los cuales se halla el uso de filtros

de diversa naturaleza, entre ellos destaca aquellos que incorporan el uso del carbón activado, cuyas características de alta capacidad de adsorción lo vuelve una alternativa viable para el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes (Maldonado, 2008).

Por lo señalado el presente estudio buscó demostrar la utilidad de un filtro de carbón activado para tratar aguas contaminadas por detergentes, el efecto de este tratamiento se midió mediante la capacidad de toxicidad del agua antes y después de ser sometida a este tratamiento, para lo cual se utilizó el método de bioensayos de toxicidad, utilizando como organismo de prueba a la pulga de agua, no solo por ser un componente de los ecosistemas de la mayoría de los cuerpos de agua, sino por estar ya estandarizado su uso en este tipo de estudios.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La demanda actual de los detergentes a nivel del mundo es creciente, tanto a nivel doméstico como industrial, sobre todo por su bajo costo de producción debido a procesos químicos desarrollados para su fabricación, por ello su disponibilidad en el mercado es amplio. También el uso de lavadoras automáticas ha incrementado su consumo, pues cada ciclo de lavado requiere una nueva carga de detergente, toda esta agua contaminada con esta sustancia es vertida al sistema de alcantarillado público, evidenciándose la formación de espuma en la misma, como claro indicador de contaminación por detergentes (Chambi, 2018).

Los detergentes son considerados contaminantes emergentes, debido a que aún no existe legislación y normatividad ambiental, que regule su uso y además de existir pocos estudios que evidencian su toxicidad en ambientes acuáticos, pero los estudios iniciales indican que los mismos si presentan toxicidad para diversos organismos acuáticos, atribuible a su composición química (Chambi, 2018).

En esta situación problemática los organismos acuático se constituyen en una alternativa para la realización de pruebas de toxicidad, puesto que se supone que los mismos estarán afectados de manera directa por los detergentes, puesto que como se conoce las aguas van a desembocar en diferentes cuerpos de agua, es así que la pulga de agua (*Daphnia pulex*), que conforma parte importante de la cadena alimenticia de los cuerpos de agua, es considerado como un indicador biológico adecuado para analizar el efecto de los detergentes (Koci, 2000).

La ciencia ambiental busca técnicas y procedimientos que permitan reducir los niveles de diversos contaminantes, entre ellos los detergentes en las aguas con presencia de dicho contaminante emergente (detergentes), entre las alternativas se tiene al uso de filtros, específicamente de carbón activado, que por su amplia capacidad de adsorción se constituye en una alternativa practica y viable para tratar aguas con presencia de detergentes (Casallas & Ibañez, 2008).

Por otro lado se conoce que los estudios de toxicidad son en la actualidad la herramienta metodológica adecuada para analizar el riesgo potencial producido por cualquier sustancia, otra ventaja de estos ensayos es que pueden ser estandarizados a condiciones ambientales específicas (Insua *et al.*, 2010).

Por lo expuesto el estudio busca analizar a profundidad las consecuencias que para el ambiente puede provocar el uso desmedido de detergentes comerciales, evaluando la toxicidad de los mismos en un

organismo vivo como es la “pulga de agua” (*Daphnia pulex*), especie ya probada y con características deseables para la realización estudios de toxicidad de sustancias en medios acuáticos, esta evaluación se realizará en dos etapas en la primera bajo concentraciones conocidas de detergentes y en la segunda posterior al tratamiento de las mismas con un filtro de carbón activado, por lo que el estudio es aplicado al utilizar una tecnología que incorpora el uso de un carbón con amplio poder de adsorción, como posible componente de un sistema de tratamiento de aguas con presencia de detergentes, lo que posteriormente permitirá el desarrollo de un sistema completo que permita la obtención de aguas con niveles bajos de contaminación por este contaminante emergente.

## **1.2. Definición del problema**

Problema general:

¿Será efectivo el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado para reducir su toxicidad sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua?

Interrogantes específicas:

¿Cuáles serán los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado?

¿Cuál será la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado?

¿Cuál será la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado?

### 1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Evaluar el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado para reducir su toxicidad sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua.

Objetivos específicos:

Analizar los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado.

Determinar la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

Calcular la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

### 1.4. Justificación y limitaciones de la investigación

Ambiental:

Los detergentes son compuestos químicos que afectan de diversas formas a los ambientes acuáticos donde son vertidos, entre los principales se conoce a la eutrofización por el contenido de fosforo en su composición,

también contienen cloro que es tóxico para la mayor parte de organismos acuáticos entre los cuales se destaca a la pulga de agua (*Daphnia pulex*) caracterizado por conformar parte importante de la cadena trófica de los cuerpos de agua (Lechuga, 2005). Así mismo otro problema es la formación de espuma, cuyo efecto principal es que interfieren en el proceso de mezcla del oxígeno atmosférico con el agua, provocando que el oxígeno disuelto disminuya de manera significativa (Jimenez *et al*, 2015).

Técnico científico:

La realización de un estudio aplicado para la solución de un problema ambiental emergente, con el uso de un filtro de carbón activado, considerando además la evaluación de la toxicidad de detergentes antes y después de su tratamiento sobre un organismo acuático (pulga de agua), servirá como un antecedente, para la realización de estudios posteriores que incorporen otras técnicas de tratamiento para reducción de la toxicidad de detergentes en cuerpos de agua.

Social

La sociedad debe comprender que la contaminación de medios acuáticos por sustancias utilizadas por ellos (detergentes), es un problema ambiental importante, pero que en muchos casos puede ser reducida por un cambio de conducta de la población, como sería el uso de detergentes biodegradables en reemplazo de los químicos que son mucho más tóxicos, así como la reducción de su frecuencia de uso.

Económico:

El estudio busca validar el uso de un filtro de carbón activado para el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes, utilizando una prueba de toxicidad aguda mediante bioensayos, que permita determinar la toxicidad de dichas aguas antes y después de su tratamiento.

Implicancias prácticas:

Los resultados del estudio serán de utilidad práctica, puesto que mediante el uso de una técnica, como es el uso de un filtro de carbón activado, se busca dar una alternativa de solución al problema de contaminación de aguas por detergentes, además que los resultados podrán ser utilizados como antecedente para el planteamiento de nuevas investigaciones.

### **1.5. Variables**

Las variables independientes son:

Variable independiente: Detergentes comerciales

Variable interviniente: Filtro de carbón activado

Variables dependientes: Mortalidad - Concentración letal media (CL<sub>50</sub>).

Operacionalización de variables:

**Tabla 01**  
*Operacionalización de variables*

<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>ÍNDICE</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Calidad de agua Antes del carbón activado.	Parámetros fisicoquímicos	pH,	Unidades	Potenciómetro
Después del carbón activado.		Conductividad eléctrica.	uS/cm,	Conductímetro
		Dureza total	mg/L	Laboratorio
		Cloruros	mg/L	Laboratorio
		Sólidos totales disueltos.	mg/L	Laboratorio
		Sulfatos	mg/L	Laboratorio
	Con carbonato de sodio: Patito	Concentraciones	0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 mg/L	
<b>Independiente:</b>				
Detergentes comerciales	Con sulfato de sodio: Ariel			
	Con cosurfactante: Ace			
<b>Dependiente:</b>	Organismos Individuos de <i>Daphnia pulex</i>	Mortalidad	Número de individuos muertos	
Mortalidad - Concentración letal media (CL <sub>50</sub> ).				

## 1.6. Hipótesis de la investigación

Hipótesis general:

- Se logra reducir la toxicidad de aguas contaminadas por detergentes sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua mediante un filtro de carbón activado.

Hipótesis específicas:

- Los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado, presentan diferencias significativas.

- Existe una concentración letal media ( $CL_{50}$ ) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.
- Existe una concentración letal media ( $CL_{50}$ ) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Toxicidad de los detergentes

###### A nivel internacional

Castiglioni & Collins (2010), el objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento de un producto comercial de características biodegradables en el aspecto de la reproducción de la pulga de agua (*Daphnia magna*). La metodología fue la ejecución de bioensayos de carácter crónico. Se determinó una concentración de letalidad media CL<sub>50</sub>. En el tratamiento control los individuos produjeron en promedio 262 huevos, lo que fue similar a las dos concentraciones menores utilizadas en los ensayos. El producto detergente biodegradable produjo como efecto una reproducción elevada. Este estudio se vincula con esta investigación, porque muestra que en ensayos de toxicidad crónica los efectos pueden ser diferentes a los de ensayos con mayores concentraciones, es decir ensayos de toxicidad aguda.

Insua *et al.* (2010), realizaron un estudio de toxicidad, empleando un surfactante de la línea de los sulfatos, el indicador biológico fue el caracol dulce acuícola (*Physa Cubensis*). Los resultados evaluados mediante toxicidad

aguda señalan la existencia de diferencias estadísticas significativas respecto a la toxicidad entre detergentes químicos ( $CL_{50}$ ) (45.91 108.45, 195.21, 263 ug/MI), mientras que el producto natural tuvo una menor toxicidad ( $CL_{50}$ ) 1183.5 ug/MI, se concluye que los detergentes comerciales presentan un elevado nivel toxico para un organismo acuático. Este estudio se consideró relevante porque muestra que el problema de contaminación por detergentes es un problema global, además de demostrar su toxicidad en un organismo similar al de nuestro estudio.

Jimenez *et al* (2015), evaluaron el nivel de toxicidad de los detergentes (Ariel, Ace, foca y Roma), utilizaron como organismo de prueba postlarvas de *Macrobrachium tenellum*. Los resultados indican la existencia de diferencias estadísticas de la toxicidad de dichos detergentes, las evaluaciones de los ensayos de toxicidad aguda fueron para Ace 1.0 ppm, Foca 10, Ariel 103, y Roma 209 ppm. Se concluye que las post larvas utilizadas son sensibles y por lo tanto útiles en posteriores ensayos de evaluación de toxicidad. Este estudio se consideró importante porque concluye que los detergentes comerciales presentan toxicidad sobre organismos acuáticos.

Lechuga (2005), se realizó la evaluación de la toxicidad de productos detergentes sobre bacterias marinas luminiscentes de la cepa *Vibrio fischeri*. Los resultados finales señalan que los alcoholes grasos etoxilados analizados son los que presentaron un mayor nivel de toxicidad, el producto Findet presentó el valor de toxicidad medio de 1.24 mg/L, siendo el producto de mayor toxicidad, mientras que el menor nivel se obtuvo con el producto NPEO con

concentración de letalidad media de 160.6 mg/L. Este estudio se consideró relevante porque muestra que la toxicidad de detergentes también se produce en organismos acuático de niveles tróficos inferiores como son los organismos bacterianos.

Misik *et al.* (2012), probaron mezclas a base de detergente y los surfactantes puros, se investigaron por su toxicidad aguda a las 24 h. Los detergentes comerciales Neodekont<sup>TM</sup>, Argos<sup>TM</sup>, Dermogel<sup>TM</sup> y FloraFree<sup>TM</sup> se probaron en ratas Wistar macho después de la administración percutánea, peroral e intramuscular. Los tensioactivos puros althosan MB, alquilbenceno sulfonato sódico, tritón X, cloruro de bencil dimetil dodecil amonio y bromuro de N-dodecilpiridinio mostraron concentraciones letales medias (DL<sub>50</sub>) varió de <100 mg.kg<sup>-1</sup> (i.m.) a más de 2000 mg.kg<sup>-1</sup> (p.o, p.c.). Todos los detergentes probados en ratas eran bastante menos tóxicos (DL<sub>50</sub>> 6 ml.kg<sup>-1</sup>), por lo tanto, podrían considerarse seguros si se usan como descontaminantes externos de la piel o si se ingiere accidentalmente un volumen bajo.

Ndome, Mowang & Ayibaemi (2013), se analizó la toxicidad aguda de los detergentes Omo (Unilever) y Ariel (Procter & Gamble), se utilizaron alevines de híbrido de *Clarias gariepinus* x *Heterobranchus longifilis* He (Heteroclarias), en un bioensayo de 96 horas. Se expusieron a concentraciones de 0,00, 20, 30, 40, 45 y 50 ppm de cada detergente durante 96 horas. Los valores de Concentraciones Letales Medianas (LC<sub>50</sub>) para los detergentes variaron entre 33.03-35.19 ppm y 37.43-39.79 ppm para Omo y Ariel,

respectivamente. Los tiempos de manifestación disminuyeron de 62-14 y 70-14 horas. Se observaron alteraciones respiratorias, pérdida del equilibrio de enderezamiento, letargo y muerte repentina de los peces en los peces expuestos. Se concluyó que los efluentes que contienen estos detergentes no deben verterse indiscriminadamente en los cuerpos de agua para evitar daños a los peces y otras formas de vida acuática.

Peraza & Delgado (2012), determinaron mediante la experimentación con ensayos de toxicidad, el efecto de cuatro productos detergentes de carácter biodegradable, Roma, Foca, Puro-Sol y Blanca Nieves, utilizaron como organismo indicador *Laonereis culveri*.). Los resultados del ensayo de toxicidad aguda señalan que el producto Foca presentó la mayor toxicidad observada (12.88 en ppm), mientras que el menor nivel de efecto tóxico se obtuvo con Puro-Sol con 14.12 en ppm. Así mismo el riesgo ambiental fue, para todos los productos mayor a 1, indicando que estos productos pueden provocar algún nivel de daño a organismos residentes en los sedimentos. Este estudio es vinculado con nuestra investigación considerando el uso de productos de limpieza como los detergentes, que aun siendo de carácter biodegradable presentan toxicidad sobre un organismo acuático.

Jawahar *et al* (2015), investigaron la toxicidad a corto plazo (96 h) del detergente Surf para dos peces teleósteos de agua dulce *Catla catla* y *Labeo rohita* utilizando bioensayo estático. Los alevines de Catla y Rohu estuvieron expuestos a cinco concentraciones diferentes (10, 12, 14, 16 y 18 ppm) de Surf durante 24, 48, 72 y 96 horas. El método estadístico Probit de Finney. Los

valores de CL<sub>50</sub> a 24, 48, 72 y 96 h de Surf para los alevines de Catla fueron 23.79, 17.87, 15.84 y 14.20 ppm; mientras que para los alevines de Rohu los valores correspondientes fueron 17.26, 14.79, 12.74 y 11.06 ppm, las diferencias observadas en la mortalidad de los alevines *Catla catla* y *Labeo rohita* en diferentes concentraciones de Surf fueron significativas (P <0.001) y sugieren que la mortalidad podría ser un factor importante de concentración y tiempo de exposición.

Chandanshive (2013), evaluaron la toxicidad aguda de dos detergentes para *Mystus montanus*, utilizaron bioensayos estáticos. Los valores de 96h LC<sub>50</sub> se determinaron mediante el método gráfico de Litchfield y Wilcoxon. Estos fueron para Det-I 20.0 mg /litro y Det-II 23.5mg / litro. Durante el período de exposición, los peces de prueba exhibieron varios cambios de comportamiento antes de la muerte, como inquietud, natación rápida y pérdida de equilibrio, dificultad respiratoria y hemorragia de los filamentos branquiales, entre otros. La tasa de ventilación de Opercula, así como el examen visual de los peces muertos, indican los efectos letales del detergente sobre los peces.

Koci (2000), realizó un estudio de toxicidad de detergentes, los resultados demuestran que los detergentes zeolíticos son más tóxicos en comparación con sus formas de fosfato en el caso de la prueba con *Poecilia reticulata*. Sin embargo, los organismos más sensibles, las dafnides, no prueban esta conclusión. Los efectos tóxicos de los detergentes zeolíticos y fosfatados sobre los crustáceos *Daphnia magna* son aproximadamente los

mismos. La concentración letal media  $CL_{50}$  para *Daphnia magna* presentó valores entre 36.2 a 45 mg/L.

### **A nivel nacional**

León (2006), estudió mediante bioensayos de toxicidad el efecto de detergentes formulados a partir de dos fórmulas químicas, utilizó como organismo de respuesta a la “trucha arco iris” *Oncorhynchus mykiss* en estado de alevinos. Los resultados del ensayo de toxicidad crónica indican una concentración letal media de 13.91 mg L<sup>-1</sup> y 13.86 mg L<sup>-1</sup> para ambas formulaciones, el análisis estadístico señala que no existe diferencias respecto a la mortalidad producida por ambos productos. Este estudio se consideró importante como antecedentes porque concluye que los detergentes comerciales presentan toxicidad sobre organismos acuáticos, aun en niveles tróficos superiores como son los peces de agua dulce.

#### **2.1.2. Uso de carbón activado para tratamiento de aguas contaminadas por detergentes.**

Casallas & Ibañez (2008), determinaron por medio de bioensayos de concentración letal media ( $CL_{50}$ ), la toxicidad de un producto detergente con formulación aniónica de marca comercial ROTEX. Como organismo vivo indicador de toxicidad se utilizó a la pulga de agua *Daphnia pulex*. Los resultados indican que se logró que el filtro remueva la mayor parte de detergente, respecto a las mediciones anteriores y posteriores a su aplicación, el promedio de remoción del detergente fue del 70%. Esta investigación se consideró relevante y relacionada con nuestra investigación, considerando la

viabilidad de utilizar el carbón activado como medio filtrador y además la realización de una evaluación de la toxicidad de los detergentes en un organismo vivo que será el mismo que utilizaremos.

Chambi (2018), señala que las lavanderías industriales de la ciudad de Puno utilizan comúnmente detergentes comerciales (Marcella, Patito y Ariel). Las muestras fueron tomadas aleatoriamente de las lavanderías Don Marcelo. Mediante análisis químico se determinó que la concentración de detergente es de 2,84 mg/L. La adsorción con carbón activado de cuesco de palma en polvo se logró remover detergente al 93,43% a pH 6 y tiempo de 60 min, mientras con carbón activado de cáscara de coco en polvo se obtuvo remover al 95,31% de detergente LAS a pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min. La concentración final de detergente en agua residual tratada con carbón activado cuesco de palma en polvo fue de 0,15 mg/L y con carbón activado cáscara de coco fue reducido a 0,12 mg/L, que según las Normas de Calidad del Agua el límite máximo permisible en detergentes es 0,5 mg/L, por lo tanto, cumple con las Normas Ambientales de Calidad de agua para el vertido en cuerpos de agua. Los resultados de esta investigación fueron considerados por estar relacionados directamente con el uso del carbón activado para reducir niveles de detergentes en aguas con dicha sustancia.

Maldonado (2008), indica que se realizó la evaluación de dos tipos de carbones activados, el primero obtenido a partir de cuesco de palmiste, que presentaba como tamaño de partículas de 2,38 – 0,84 mm, un segundo carbón obtenido a partir de cuesco de coco con un tamaño de partícula: 3,36 – 1,69

mm. La evaluación de ambos del comportamiento de ambos carbones activados se realizó utilizando detergentes aniónicos tipo sulfato. Los resultados permitieron identificar que el carbón activado obtenido a partir de cuesco de palmiste presentó una capacidad de adsorción alta del lauril sulfato de sodio, llegando a remover hasta un 92,5 %. Se concluye que la final del tratamiento se obtiene un agua con una cantidad de 0,5 mg/L de lauril sulfato de sodio, mientras que la vida de utilidad del filtro fue calculada en 26 días. Los resultados de este estudio se consideraron de interés por guardar relación directa con el uso del carbón activado, en forma de un filtro de columna y lecho para producir el proceso de adsorción en sustancias de limpieza (contaminantes emergentes).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Los detergentes o tensioactivos**

Los detergentes son compuestos orgánicos sintéticos, que disminuye la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. El cambio en la tensión superficial se debe a la presencia de una sustancia llamada surfactante.

Los surfactantes están formados por moléculas relativamente grandes; estas sustancias combinan en una sola molécula un grupo fuertemente hidrofóbico con uno fuertemente hidrofílico. El grupo hidrofóbico es un radical hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono en una cadena recta o ligeramente ramificada. El grupo hidrofílico corresponde a la parte polar de la molécula, que puede ser: iónico o no iónico. La parte polar es soluble en agua;

mientras que la cadena hidrocarbonada es soluble en aceites o grasas (Romero, 2002)

Los detergentes se produjeron una masificación de su uso, produciéndose una disminución significativa del uso de los jabones, que habían sido hasta entonces los más utilizados para el lavado de ropa y otros elementos. Esta ventaja en costo de los nuevos detergentes químicos se debió mayormente a que los jabones, presentan en su composición Calcio y Magnesio, los mismos que producen una pérdida de las propiedades limpiadoras, puesto que estos elementos producen la aparición de un precipitado (Dorado, 1996).

Otra propiedad que presentan los detergentes sintéticos fue su buen funcionamiento en aguas de naturaleza dura, puesto que los mismos tienden a presentar la formación de algunos compuestos solubles, lo que permite una mayor suspensión de las partículas y por lo mismo una menor precipitación, adicionalmente otra propiedad de los detergentes en su buen funcionamiento aun a temperaturas bajas, lo que no sucedía con los antiguos jabones de origen orgánico. Debe entenderse que el termino genérico de tensioactivos hace referencia a una gran variedad de compuestos por lo general de naturaleza química, se debe considerar que a nivel mundial casi el 80% de la demanda actual está siendo abastecida por un numero bastante reducido de detergentes (Cuevas, 2001).

En relación a la oferta y demanda de los tensioactivos, se conoce que dicha demanda viene siendo cubierta por un número menor a diez tipos, entre ellos por su amplia producción se destacan los alquilbencenosulfonatos y

sulfatos de alcoholes grasos y los jabones, estos productos son los que en su mayoría cubren la demanda de los productos para el lavado de ropa y además de ser componentes principales de diversos productos destinados a la limpieza del hogar (Cuevas, 2001).

Se conoce que a nivel mundial se tiene una producción de tensioactivos de alrededor de 17 a 19 millones de toneladas, esto para el año 2000 (se incluye los jabones). Las estimaciones señalan que se producirá un crecimiento a nivel mundial de entre un 3 a 4% al año y un 1.5% en los países de Europa. Este gran crecimiento se justifica porque los tensioactivos son utilizados para la formulación de una diversidad de productos, sin embargo, por su importancia destacan los detergentes, ya que estos utilizan alrededor del 50% de la producción mundial de estos productos (Cuevas, 2001).

#### **2.2.1.1. Clasificación de los detergentes**

Se conoce que los productos tensioactivos pueden clasificarse básicamente en cuatro grupos principales (Solans *et al*, 2001):

- Tensioactivos aniónicos: se caracterizan por la presentación de grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa, lo cual da origen a iones orgánicos, los mismos que le confieren la característica actividad superficial. Este grupo son aquellos cuya formulación es en detergentes tipo polvo, cuya utilidad principal es el lavado de ropa, adicionalmente pueden tener presentación líquida y estos son destinados para el lavado de vajilla.

- Tensioactivos catiónicos: son productos que presentan grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa, dando formación a iones orgánicos y son estos los que producen la actividad superficial.
- Tensioactivos no iónicos: Están formados por sustancias que en su composición no forman iones. Tienen grupos funcionales con una alta afinidad por el agua, es decir son solubles en ésta. Por lo general no producen espuma abundante y su presentación comercial se concentra en productos líquidos o de consistencia pastosa.
- Tensioactivos anfotéricos: se caracterizan por presentar grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa. Estos no suelen ser utilizados en la formulación de detergentes. Entre algunas propiedades importantes se puede resaltar algunos proporcionan una excelente formación de espuma y no causan irritación de la piel y ocular, por lo general suelen estar presentes en formulaciones destinadas a producir champús.

### **2.2.2. Contaminación de aguas por detergentes**

Debido al sinnúmero de presentaciones y diversidad de formulaciones de los detergentes, su vertimiento a diferentes cuerpos de agua se ha convertido en uno de los problemas medioambientales de gran actualidad, puesto que los cuerpos de agua principales como ríos, lagunas, lagos y mares se ven afectados claramente por estas sustancias, afectando de forma negativamente a la calidad de las aguas de los mismos (León, 2006).

El servicio de alcantarillado de las ciudades se ha convertido en la principal vía de traslado de los detergentes hacia los cuerpos de agua, produciéndose en los mismos un amplio rango dispersión de esta sustancia contaminante, aun en los casos que la ciudad cuente con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la concentración de detergentes en los efluentes suele ser considerable, por lo que algunos países están buscando tecnologías específicas para la remoción de detergentes de las aguas servidas domiciliarias (Myers, 1992).

Las consecuencias que la presencia de los detergentes puede producir son diversas, entre las principales se puede citar las principales (Perales, 2001):

1. Incremento del pH de las aguas contaminadas por detergentes, incluso llegando a superar las 12 unidades.
2. Provocan procesos de eutrofización en los cuerpos de agua de recepción, por la presencia de fósforo, puesto que este elemento se produce a partir del tripolifosfato, el mismo que está presente en las diversas formulaciones detergentes.
3. La toxicidad de los detergentes se puede producir desde los niveles más bajos de la cadena trófica, llegando incluso a afectar a los niveles superiores como peces y otros.
4. Provocan la coagulación y sedimentación en aguas que son tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales.
5. Se produce la formación excesiva de espuma, tanto en cuerpos de agua receptores, pero también en plantas de tratamiento de aguas.

Sin embargo, los tensioactivos en forma de detergentes son estudiados por presentar una alta toxicidad sobre diversos organismos acuáticos, esto le confiere un carácter de prioridad en los estudios del medio ambiente, puesto que la letalidad de los mismos puede producir problemas serios en los cuerpos de agua (Perales, 2001).

### 2.2.3. Composición de los detergentes en el Perú

Los detergentes comercializados en el Perú, presentan diversas composiciones, sin embargo, las marcas principales por su volumen de comercialización, presentan los siguientes componentes:

**Tabla 02**

*Composición de los detergentes comerciales en el Perú*

<b>Detergentes</b>	<b>Surfactante LAS</b>	<b>Co-surfactante</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>Blanqueador óptico</b>
Ña pancha	x		x		X
Sapolio Lavavajillas	x		x		X
Ariel	x			x	X
Ace	x	x			X
Opal	x	x	x	x	X
Bold -3	x				X
Magia Blanca	x	x		x	X
Ariel con Blanqueadores	x	x		x	X
Blanca Nieves	x		x	x	X

*Nota:* Visitación, 2004.

### 2.2.4. Toxicidad de los detergentes

Se conoce que los detergentes con LAS presentan una toxicidad elevada, a continuación, presentamos la toxicidad aguda, expresado en concentración letal media para especies de agua dulce y que corresponden a los niveles primarios de la cadena trófica (Tabla 3) (Varela, 2005).

**Tabla 03***Concentración letal media (LC<sub>50</sub>) de LAS sobre especies dulceacuícolas*

Especie	Tiempo (días)	LC <sub>50</sub> (mg/L)
<i>Ceriodaphnia</i>	7	20
<i>Daphnia pulex</i>	2	20
<i>Daphnia pulex</i>	2	7-49*

*Nota:* Varela, 2005.**2.2.5. Consumo de detergentes a nivel nacional**

A nivel nacional, el consumo de detergentes también ha aumentado en los últimos 8 años en el Perú como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 04***Consumo nacional de detergentes*

Año	Consumo (ton)	Población media en millones	Consumo per cápita (g/día) aproximado
1996	64 904		
1997	74 859	24	7.9
1998	68 286		
1999	79 245		
2000	78 119	26	8.4
2001	81 707		

*Nota:* INEI, 2000

### **2.2.6. Bioensayos e índices de toxicidad**

Los ensayos con organismos vivos se constituyen como técnicas rápidas y confiables para la evaluación de alguna sustancia toxica que podría contaminar un medio acuático, si bien se ha utilizado para sustancias que son el producto de la actividad humana, también tienen utilidad para el caso de sustancias de contaminación natural. Estos estudios se caracterizan porque la variable independientes son las concentraciones de la sustancia toxica, por lo general se incluye un tratamiento control sin adición de la sustancia evaluada, esto para contrastar los valores del mismo con el resto de concentraciones, este testigo tendrá utilizada posterior para determinar la concentración sin efecto adverso observable, además por su realización en condiciones de laboratorio, el control de otras variables es controlada, dando así resultados confiables y repetibles (Reish y Oshida, 2010).

Los bioensayos de toxicidad tanto aguda como crónica son técnicas validadas, puesto que parten de fundamentos teóricos sólidos sobre la relación dosis y respuesta, siendo su principal aplicación los estudios de monitoreo y control de la contaminación hídrica, considerando que son los medios acuáticos donde suelen ir a parar las sustancias toxicas que son trasladadas a partir de los sistemas de alcantarillado. Sin embargo, se debe tener presente que los bioensayos de toxicidad en laboratorio, solo permiten una primera aproximación a los efectos que producen estos efluentes (Reish y Oshida, 2010).

Por lo general para la realización de los ensayos de toxicidad, se recurre a la utilización de organismos vivos, los rangos de formas de vida varían desde bacterias hasta peces, básicamente se trata de exponer un organismos vivo a diferentes concentraciones, resultados que permitirán obtener un parámetro de importancia dentro de la toxicología ambiental, como es la Concentración Letal Media ( $CL_{50}$ ), que no es otro concepto que indica cual es la concentración de la sustancia toxica que causaría el 50% de la población de organismos analizada (Varela, 2005):

- Índices de toxicidad.

Las consecuencias de las sustancias toxicas presentan efectos sobre los organismos vivos. Los principales parámetros toxicológicos utilizados son:

$CL_{50}$ : Concentración letal media, que es definida como aquella concentración con la cual se produce la mortalidad del 50% de los organismos de prueba, este parámetro es obtenido por métodos estadísticos mediante modelos de regresión no lineal, lo cual requiere una serie de cálculos e iteraciones por su relativa complejidad; por lo general los ensayos de toxicidad aguda se realizan entre las 24 y 96 horas. El valor de esta concentración  $CL_{50}$  se puede expresar en cualquier medida de concentración (EPA, 2002).

NOAC: Traducida como efecto adverso no observable, es aquella concentración que no causa algún efecto toxico sobre el organismo de prueba. Estadísticamente esta concentración no debería mostrar diferencia con el tratamiento control sin sustancia toxica.

- Selección de especies para los bioensayos.

Para la realización correcta de un ensayo de toxicidad, inicialmente se deberá seleccionar una especie que presente ciertas características:

- Ser sensible a sustancias tóxicas.
- Presentar abundancia y estar disponible.
- Mostrar uniformidad poblacional, preferible de cultivos mono específicos.
- Ser representativo de algún nivel trófico.

Se debe efectuar un periodo de aclimatación en las condiciones de laboratorio, para que este factor no influya en los resultados del ensayo, de preferencia se debe procurar utilizar organismos vivos que ya hayan sido utilizados en otros estudios (Varela, 2005).

### **3.2.2. Carbón activado**

El carbón activado es un polímero orgánico complejo, que se caracteriza por tener una estructura porosa que le confiere características especiales como una alta capacidad de adsorción por su amplitud de superficie específica. Esta sustancia se puede producir a partir de varias materias primas como madera, carbón mineral, coque, lignina, cascara de nuez, bagazo de caña de azúcar, aserrín, residuos de petróleo entre otros. El carbón activado puede ser presentado como gránulos o en polvo, los de presentación en polvo tienen partículas menores a 100  $\mu\text{m}$ , y los granulares entre 0,2 y 1,7 mm.

La principal propiedad del carbón activado es su alta capacidad de adsorción, porque sus características son independientes del tamaño particular, pero el tamaño de las mismas si tiene influencia sobre la cinética del proceso de adsorción (Corbitt, 2003).

### **Propiedades**

La principal propiedad del carbón activado es su área superficial, que debido a su gran porosidad produce una alta capacidad de adsorción, estas características lo vuelven como de los productos idóneos para la fabricación de diversos filtros, entre los que destacan los filtros para retener colores y olores (Romero, 2002).

#### **3.2.3. *Daphnia pulex***

##### **Características generales**

Es un organismo acuático cuyo tamaño varía entre 0,2 y 5,0 mm de longitud, su hábitat son los medios acuáticos, desde simples charcos, ríos, lagos; su alimentación es básicamente a partir de fitoplancton, pero también organismos protistas y bacterias, incluso pueden consumir materia orgánica en forma de partículas (Espindola, 2000).

Dependiendo de su tamaño pueden ingerir pequeños crustáceos y rotíferos, siendo su estrategia alimenticia el filtrado del agua, lo que les permite consumir algas unicelulares y varios tipos de detritos orgánicos, incluyendo protistas y bacterias. Otra característica importante es que son fáciles de cultivar y mantener en condiciones de laboratorio, lo que las vuelve en organismos ideales para los ensayos de toxicidad, así mismo su reproducción

que puede ser también asexual permite la obtención de cultivos mono específicos, es decir a partir de un solo organismo, lo que le confiere una alta estandarización de la respuesta que pueden presentar frente a la exposición de sustancias tóxicas (Hogan, 2008).

### **Uso de *Daphnia* en ensayos de toxicidad**

*Daphnia* pertenece a los cladóceros, este grupo incluye a aquellos organismos que son los más utilizados como organismos de prueba en bioensayos de toxicidad tanto aguda como crónica. Su característica cosmopolita de amplia distribución mundial lo vuelve idóneo para su disponibilidad, por otro lado su facilidad de cultivo a partir de pocos individuos, así mismo su poca exigencia de alimento y su alta tasa de reproducción, su corto periodo de vida, han permitido que este cladocero se convierta como el ideal para las pruebas de toxicidad de una gran diversidad de sustancias.

Las especies más conocidas de este género son *Daphnia magna*, *Daphnia pulex* y *Daphnia similis*, todos ellos de amplia distribución geográfica, fáciles de cultivar y mantener en condiciones de laboratorio, además de existir abundante literatura sobre las mismas respecto a su fisiología, reproducción, cultivo, alimentación, lo que permite tener un fácil acceso a cualquier información requerida para su utilización en bioensayos (EPA, 2002).

Es recomendable la utilización de neonatos menores de 24 h de edad, sobre todo para ensayos que requieran un tiempo corto de exposición como 48 h, al término del mismo se realizará un conteo de organismos muertos por

efecto de la sustancia toxica, con una ponderación de los mismos con el total de individuos expuestos de forma inicial, se obtendrá una proporción o porcentaje de mortalidad, posteriormente con la aplicación de métodos estadísticos de regresión no lineal y transformación de datos se obtendrá el principal parámetro toxicológico como es la concentración letal media, a partir de los mismos resultados se pueden obtener otros parámetros como es la concentración sin efecto adverso observable, todos ellos tendrán una interpretación según las concentraciones utilizadas y la respuesta del organismo de prueba (Cuevas, 2001).

### 2.3. Marco conceptual

- **Alquil benceno Sulfonato Lineales (LAS):** es el grupo de sustancias surfactantes de mayor utilización en la formulación de detergentes comerciales, sobre todo por su bajo costo de producción. Su obtención química se produce a partir de una reacción del alquilbenceno con ácido sulfúrico o trióxido de azufre (Cuevas, 2001).
- **Bioensayos de toxicidad:** son ensayos de laboratorio utilizados para determinar y analizar los efectos de sustancias toxicas sobre un organismo vivo, se pueden utilizar desde organismos unicelulares hasta organismos superiores como peces.
- **Concentración efecto media (CE<sub>50</sub>):** llamada también concentración letal media, se expresa como la capacidad de una sustancia toxica para provocar la mortalidad del 50% de una población de organismos expuestos a la misma (EPA, 2002).

- **Detergente:** aquellos productos utilizados para remover la suciedad de la ropa, metales, etc. Su composición incluye uno o varios surfactantes, además de otros productos como son mejoradores, suavizadores, blanqueadores, agentes antideposición, secuestrantes, perfumes, colorantes, enzimas, hidrótopos y sales inorgánicas.
- **PROBIT:** modelo estadístico que, a partir de resultados de los ensayos de toxicidad, permite calcular la concentración letal media, hace uso de regresiones no lineales, correlación, transformaciones y estimaciones de probabilidad.
- **Toxicidad aguda:** estudios de toxicidad cuyo término se produce en un periodo corto de exposición del organismo a la sustancia toxica, (ejemplo, 24 horas), por lo cual se utilizan concentraciones que intencionadamente se supone causaran la muerte del organismo, se recomienda que siempre se disponga un tratamiento control sin adición de sustancia toxica, para valorar la mortalidad natural que pudiera existir bajo las condiciones de realización del estudio (EPA, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

El estudio por su naturaleza presenta dos etapas metodológicas para el cumplimiento de los objetivos, el primero corresponde al análisis fisicoquímico del agua con detergente antes y después de ser sometido al tratamiento mediante un filtro de carbón activado, que da respuesta al primer objetivo de la investigación. La segunda etapa metodológica permite responder a los objetivos específicos dos y tres, que determinan la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergente antes y después del tratamiento con filtro de carbón activado.

#### **3.1. Tipo de investigación**

Experimental (explicativo): se utilizó la experimentación mediante la utilización de la modificación intencionada de los factores de estudio, además de la utilización de un tratamiento control, que permitió analizar el efecto mediante la contrastación, a través de principios encontrados en el método científico. Se realizó mediante la intervención del experimentador, al implementar el tratamiento del agua con detergente con un filtro de carbón activado y el uso de un organismo de prueba para determinar la concentración letal media del agua con detergente.

### 3.2. Diseño de investigación

Diseño experimental: Se caracteriza porque los organismos de prueba, fueron asignados bajo un criterio aleatorio a las diferentes concentraciones que presentó el bioensayo (Hernández *et al.* 2010). La otra característica es que existe un tratamiento control que permitió la comparación con cada una de las concentraciones de la sustancia tóxica (agua con detergente).

<b>G.E. : O<sub>1</sub> - X - O<sub>2</sub></b>
<b>G:C : O<sub>1</sub>      O<sub>2</sub></b>

Fuente: Reish y Oshida, 2010

Donde:

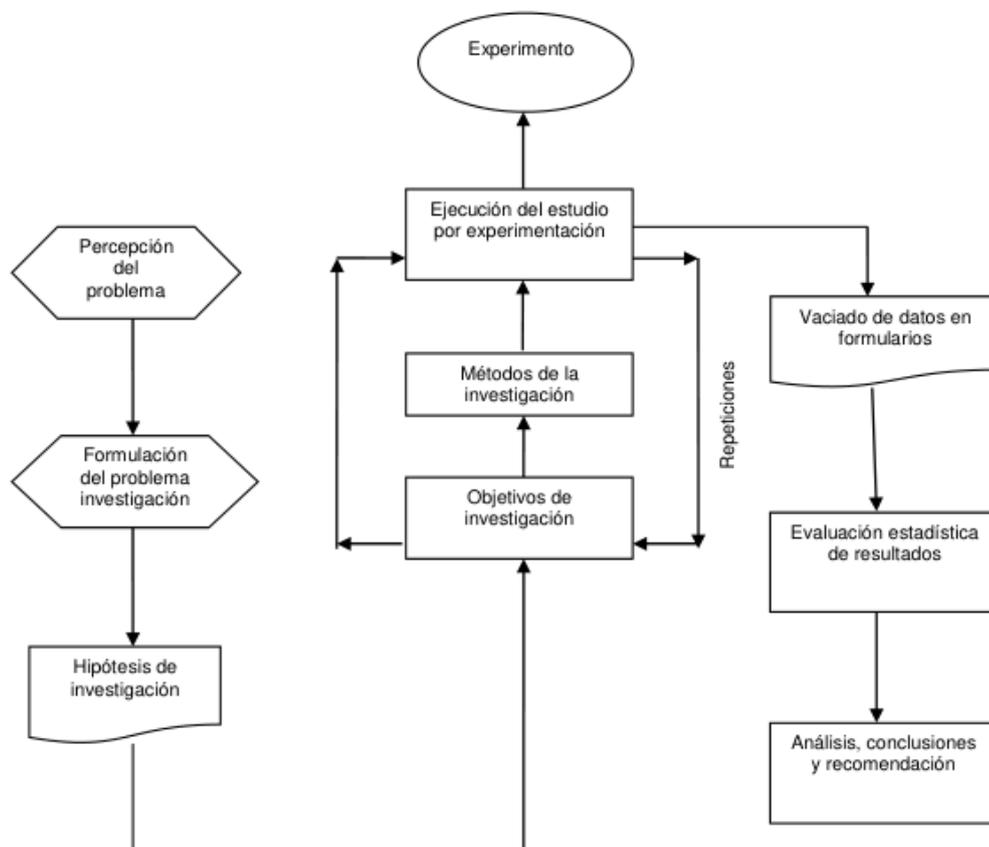
GE: Grupo experimental

GC: Grupo control

O<sub>1</sub> = Pre test

X = Tratamiento

O<sub>2</sub> = Post test

**Figura 01***Flujograma de realización del proceso de investigación***Variables**

**Variable independiente:** Detergentes comerciales; fueron empleadas las marcas Patito, Ariel y Ace; en diferentes concentraciones (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 mg/L)

**Variable interviniente:** Filtro de carbón activado modelo de columnas de lecho fijo con flujo descendente, los parámetros de adsorción en columnas empacadas con carbón activado son el caudal, carga hidráulica y tiempo de contacto (Gil, 2005).

**Variables dependientes:** Parámetros fisicoquímicos del agua con detergente y mortalidad de la pulga de agua (expresado como concentración letal media (CL<sub>50</sub>).

### **3.3. Población y muestra.**

Para el primer objetivo se consideró lo siguiente:

Población: Detergentes que se comercializan en el Perú.

Muestra: Tres detergentes (Ariel, Ace y Patito) de mayor consumo en el Perú.

Para el segundo y tercer objetivo:

La población y muestra fue fijada por el investigador, como corresponde a un estudio experimental, considerando seis concentraciones del agua con detergente y diez individuos de pulga de agua para cada unidad experimental.

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

#### **3.4.1. Para el primer objetivo: analizar los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado.**

Se realizó la toma de muestras de agua del lago Titicaca, siguiendo el protocolo señalado en la Resolución Jefatural N° 010 - 2016 – ANA Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, en la zona ubicada en el lago mayor, es decir aquella zona que no presenta contaminación por aguas servidas, debido a que se requiere una calidad de agua aceptable.

**Figura 02**

*Punto de toma de muestra de agua en el lago Titicaca*



*Nota:* Google Earth (Latitud: -15.840360°, Longitud: -69.729970°)

La muestra de agua fue tomada en un volumen de 5 L, como punto de muestreo en el lago mayor, los parámetros fisicoquímicos que fueron analizados del agua con detergente y la misma agua luego de ser tratada con un filtro de carbón activado, fueron los siguientes:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Dureza total
- Alcalinidad
- Cloruros
- Sulfatos
- Solidos disueltos totales

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Nacional del Altiplano en Puno, que se ubica en la Facultad de Ingeniería Química, los análisis fueron con tres repeticiones para una mayor confiabilidad. Las técnicas de laboratorio fueron las estandarizadas que señala el laboratorio de Calidad de Aguas.

La concentración del agua con detergente inicial fue de 42 litros de agua y 800 g. de detergente, en base a estudios previos de toxicidad.

### **Diseño y construcción del filtro de carbón activado de cáscara de coco**

Como parte de la investigación se realizó el tratamiento de las aguas con detergentes, para lo cual se implementó un filtro de carbón activado con las siguientes características.

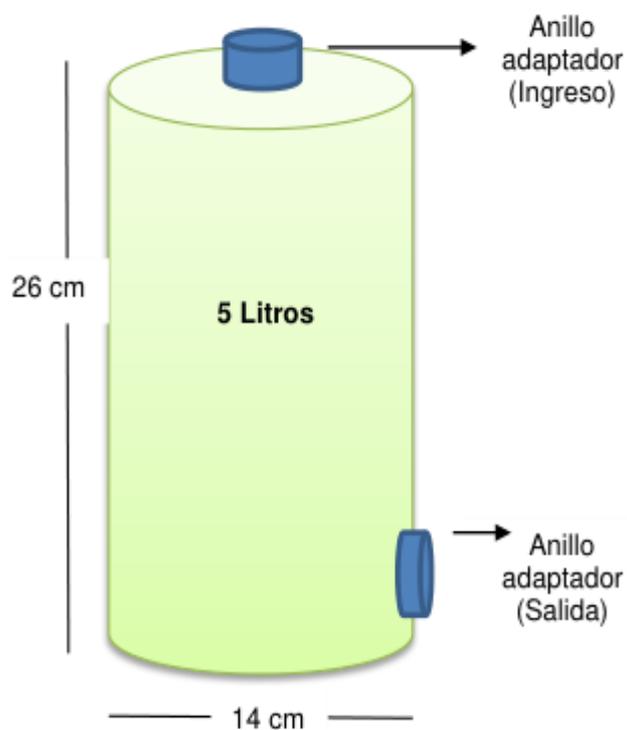
Las columnas de lecho fijo se utilizaron individualmente con conexión en serie, en la figura 04, se muestra el esquema propuesto del sistema de columnas de lecho fijo con flujo descendente acopladas. El flujo del agua con detergente será continuo y regulado mediante llave de paso (La Greca *et al.*, 1996).

### **Características del carbón activado**

Las características del carbón activado utilizado en la construcción del filtro de carbón activado, fue la siguiente:

**Tabla 06***Caracterización del carbón activado de cascara de coco*

Parámetros	Especificaciones	Método de prueba
Base	Carbón de cascara de coco	-
Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	1011	
Apariencia	Granulo negro e irregular	-
Tamaño de partícula	Malla 6x12	ASTM D2862
Tamaño máximo (+3.5mm)	3% (Max)	
Tamaño mínimo (-1.7mm)	1% (Max)	
Dureza	98% (Mín.)	ASTM D3802
Humedad	5% (Máx.)	ASTM D2867
Ceniza	3% (Máx.)	ASTM D2866
pH	9-11	ASTM D3838
Tamaño medio de Partícula	2.5 mm (Mín.)	-

*Nota: Insuquímica SAC.***Figura 03***Esquema de dimensión y volumen del filtro*

Los principales parámetros del proceso de filtrado en columnas empacadas con carbón activado (120 gr.) son el caudal, carga hidráulica y tiempo de contacto, estos son los que describen el sistema de funcionamiento de filtros, para lo cual se requiere el cálculo de los siguientes elementos (Gil, 2005).

La altura del cilindro al límite del agua es 1.5 m y al ingreso al filtro 0.5 m, el diámetro interior del tubo de ½ pulgada es de 16.6 mm y su radio 8.3 mm.

Calculando el Área Transversal:

$$A = \pi * r$$

$$A = 3.1416 * 0.0083 \text{ m}$$

$$A = 0.026 \text{ m}^2$$

Para calcular el Caudal (Q)

Seguimos el principio de Bernoulli con la siguiente expresión:

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Reemplazando tenemos:

$$1.5 = \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 0.5$$

$$\sqrt{1(2)(9.81)} = V_2$$

Entonces la velocidad es:

$$V_2 = 4.43 \text{ m/s}$$

El caudal (Q):

$$Q = (0.026 \text{ m}^2) (4.43 \text{ m/s})$$

$$Q = 0.115 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este sería el caudal de salida del tanque, mediante una llave reguladora se controló el flujo, obteniéndose la salida del filtro de 2 litros por cada 4 horas.

El sistema de flujo descendente tiene en su estructura el material con capacidades de adsorción en la parte superior del lecho. Se conoce que la máxima cantidad de soluto que puede quedar retenida en el carbón activado, se consigue en el momento que el material adsorbido entra en un estado de equilibrio con la concentración del soluto, en ese instante el adsorbente se carga a su capacidad máxima y esa porción del lecho queda agotada. La región dentro del lecho de carbón donde la adsorción tiene lugar se denomina zona de transferencia de masa. Además, debe tenerse en cuenta que se puede realizar un proceso de desorción es decir recuperar el carbón para un segundo uso (Maldonado, 2008).

#### Figura 04

*Estructura del filtro de carbón activado*



**3.4.2. Para el segundo y tercer objetivo: determinar la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes y después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.**

Para el cumplimiento del segundo y tercer objetivo se realizaron bioensayos, tanto con el agua con detergente inicial y también con el agua ya tratada con el filtro de carbón activado, bajo el siguiente diseño:

**Tabla 06**  
*Diseño experimental del bioensayo*

Repeticiones	Blanco		Concentraciones					
	0	1	2	3	4	5	6	
1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	1	
3	1	1	1	1	1	1	1	
4	1	1	1	1	1	1	1	
Total	4	4	4	4	4	4	4	

*Nota:* Elaboración propia.

Concentraciones:

1: 20 mg/L.

2: 40 mg/L.

3: 60 mg/L.

4: 80 mg/L.

5: 100 mg/L.

6: 120 mg/L

Los detergentes utilizados y algunas características en su composición se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 07**  
*Detergentes a utilizarse en los bioensayos*

Detergente	Surfactante	Cosurfactante	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	LAS			
Patito	X		X	
Ariel	X			X
Ace	X	X		

*Nota:* Elaboración propia.

Los tratamientos o niveles que se utilizaron para cada uno de los detergentes, tendrán la siguiente codificación para la fase experimental.

T0	:	Grupo control, sin tratamiento.
T1	:	Grupo sometido a concentración 20 mg/L.
T2	:	Grupo sometido a concentración 40 mg/L.
T3	:	Grupo sometido a concentración 60 mg/L.
T4	:	Grupo sometido a concentración 80 mg/L.
T5	:	Grupo sometido a concentración 100 mg/L.
T6	:	Grupo sometido a concentración 120 mg/L.

**Tabla 08**

*Concentraciones de los detergentes que se utilizaron en los bioensayos*

		Detergentes comerciales (mg/L)					
Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Concentración	0	20	40	60	80	100	120

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

#### 3.5.1. Para el primer objetivo.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, determinando el valor mínimo, máximo, la media y desviación estándar, lo cual se realizó para cada uno de los parámetros fisicoquímicos del agua con detergente inicial y posterior al tratamiento con filtro de carbón activado.

Para contrastar la hipótesis correspondiente a este objetivo se utilizó la prueba T de Student, la cual permite comparar un conjunto de valores antes y después de tratar las aguas con el filtro de carbón activado, siguiendo la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$X_1$  y  $X_2$ : Son las medias de cada grupo

Tc: Valor calculado de t de Student

S: Desviación estándar

n: Tamaño de muestra

### 3.5.2. Para el segundo y tercer objetivo.

#### a. Cálculo de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>), método Probit

El efecto toxico de los detergentes se analizaron mediante técnicas de análisis de datos diseñadas para tal fin, como es el procedimiento Probit, el mismo que requiere la transformación de los datos (mortalidad), utilizando tablas estadísticas, inicialmente se deberá tener presente la existencia de una mortalidad natural (Koci, 2000).

$$M_c = \frac{M_o - M_t}{100 - M_t} * 100$$

Donde:

Mc : porcentaje de mortalidad corregida

Mt : porcentaje de mortalidad del testigo

Mo : porcentaje de mortalidad observada

Esto se utilizará para corregir nuestros datos, debido a la mortalidad natural existente en cualquier población.

### b. Procedimiento para análisis de probit.

Una vez obtenido los resultados, se procederá con los siguientes pasos:

- Inicialmente la corrección:

$$Pc = \frac{Po - Pt}{1 - Pt}$$

Po : proporción de mortalidad observada

Pt : proporción de mortalidad del testigo

Pc : proporción de mortalidad corregida

- La estimación de los parámetros de la ecuación de regresión, serán calculados mediante:

$$b_1 = \frac{\sum wnx^1 y^1 - \frac{(\sum wnx^1)(\sum wny^1)}{\sum wn}}{\sum wn(x^1) - \frac{(\sum wnx^1)^2}{\sum wn}}$$

$$a_1 = y - b_1 x^1 = \frac{\sum wny^1}{\sum wn} - b_1 \frac{\sum wnx^1}{\sum wn}$$

- Los intervalos de confianza se estimarán mediante:

$$\left( \frac{Yd - a_1}{b_1} \right)$$

**Así mismo se calculará los intervalos de confianza, así como una prueba de chi-cuadrado.**

### c. Prueba de Duncan

Esta prueba se utilizará para realizar la comparación de la mortalidad producida por cada una de las concentraciones utilizadas contra el tratamiento control. Partimos de la suposición que si el efecto de una concentración de la sustancia toxica no tiene efecto sobre el organismo de prueba, su mortalidad no debería ser diferente a la que se producirá en el tratamiento control (mortalidad natural).

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : \mu_i = \mu_2 \\ H_a : \mu_i \neq \mu_2 \end{array} \right\} \text{para } i = 1, 2, \dots, K - 1$$

En términos estadísticos la prueba de Duncan es un equivalente a la conocida prueba t de Student para comparaciones pareadas, pues también utiliza las medias o promedios para la realización de los contrastes entre los tratamientos y el control:

$$|\bar{X}_i - \bar{X}_2| \text{ para } i = 1, 2, \dots, K - 1$$

### d. Análisis de varianza

El análisis de varianza de los datos para el diseño experimental propuesto, será utilizado para evaluar las diferencias entre las concentraciones utilizadas, cuyas fórmulas de cálculo son las siguientes:

Tabla 09.

Análisis de varianza de efectos fijos balanceado, método abreviado

F. de V.	G.L.	S. de C.	C.M.	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>
					<b>0.05 0.01</b>
Tratamientos (muestras)	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - TC$	$\frac{SC_{Trat}}{GL_{Trat}}$	$\frac{CM_{Trat}}{CM_{ErrExp}}$	
Dentro tratamientos		$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r}$			

(Error experimental)	$t(r-1)$	$SC_{Tot} - SC_{Trat}$	$\frac{SC_{ErrExp}}{GL_{ErrExp}}$
Total	$tr-1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - TC$	

---

Donde:

- F. de V. : Fuente de variación.
- G.L. : Grados de libertad.
- S. de C : Suma de cuadrados.
- C. M. : Cuadrados medios.
- F<sub>c</sub> : F-calculado
- F<sub>t</sub>: F-tablas
- t : Número de tratamientos
- r : Número de repeticiones por tratamiento.
- T. C. : Término de corrección o Factor de Corrección.
- C.V. : Coeficiente de Variabilidad
- p : Probabilidad

Para el análisis de Varianza (ANOVA) de una vía, previa transformación a raíz cuadrada del arco seno, con el propósito de ajustar los datos y tener homogeneidad de varianza, se analizaron las diferencias entre los tratamientos de los tres detergentes evaluados y las diferencias entre las repeticiones. El nivel mínimo de significancia será de  $p < 0.05$  (EPA, 2002).

#### e. Contrastación de hipótesis

Segunda hipótesis:

Se probará mediante el cálculo de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>), mediante el método Probit que permite obtener un valor puntual, además de un intervalo de confianza que permite su comparación con otro valor.

Tercera hipótesis:

Se probará mediante el cálculo de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>), mediante el método Probit que permite obtener un valor puntual, además de un intervalo de confianza que permite su comparación con otro valor.

Para contrastarla se utilizó la prueba T de Student, la cual permite comparar un conjunto de valores antes y después de tratar las aguas con el filtro de carbón activado, siguiendo la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\underline{X}_1 - \underline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$\underline{X}_1$  y  $\underline{X}_2$ : Son las medias de cada grupo

Tc: Valor calculado de t de Student

S: Desviación estándar

n: Tamaño de muestra

### 3.5.3. Instrumentos y equipos.

- **Material biológico**

- Individuos de *Daphnia pulex*

- **Instrumentos de vidrio**

- Matraces Erlenmeyer 25, 50, 100, 200, 250, 500 y 1000 mL
- Probetas 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL
- Baguetas
- Láminas portaobjetos
- Láminas cubreobjetos
- Pipetas 2, 5, 10, 30 mL
- Embudos
- Placas Petri
- Vasos precipitados 50, 100, 250, 400, 600 y 1000 mL

- **Instrumentos de metal y otros**

- Pinzas, tijeras

- Hojas de bisturí
- Espátula
- Papel aluminio
- Bombillas de absorción
- Carbón activado
  
- **Equipos**
  - Estereoscopio: Marca Zhifong modelo XTD 20 capacidad 10x2
  - Microscopio óptico: Marca Leica DM300 capacidad 10x100
  - Balanza analítica: Marca Pisa FA1604AS capacidad de 30/160g.
  - Termómetro
  - pHmetro: Marca Tecpel capacidad de 0 – 14 pH
  - Oxímetro: Marca Numak capacidad de 0 – 19,99 mg/L
  - Aireadores
  - Difusores de manguera
  - Cámara fotográfica

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados por variables.

##### 4.1.1. Parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado.

###### a. pH

**Tabla 10**

*Valores de pH según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito			
	Tratamiento	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N		3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo		5.5	10.3	10.0	5.9	10.7	10.4	6.0	10.0	9.7
Máximo		6.1	10.5	10.1	6.6	11.0	10.6	6.2	10.3	9.8
Media		5.7	10.5	10.1	6.1	10.9	10.5	6.1	10.2	9.8
D.E.		0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

*Nota:* Análisis de laboratorio

El pH del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 10.5 unidades, es decir se incrementó casi al doble del valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado este pH se mantuvo en 10.1. Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento de pH a 10.9 y se redujo ligeramente a 10.5 luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento de pH a 10.2 unidades y luego de ser filtrado se obtuvo una media de 9.8.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento del pH, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar un pH básico, atribuible a la composición de los mismos, relacionado con un alto incremento de la alcalinidad como se verá más adelante. El aumento del pH es debido a la presencia de carbonatos que son sustancias alcalinas que se agregan a los detergentes para tener una mayor acción limpiadora.

**Tabla 11**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para pH según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	9.181	A	AD	10.510	A
Ace	8.731	B	ADF	10.110	B
Patito	8.688	B	T	5.980	C

*Nota:* Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Una vez sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan, de estos resultados se obtuvo que el pH del detergente Ariel fue mayor a los obtenidos con los detergentes Ace y Patito. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) presentó el pH más alto, un pH intermedio se evidenció en el agua más detergente filtrado con carbón activado y el pH más bajo fue para el agua pura sin adición alguna.

Del análisis de resultados para el parámetro pH se determinó variaciones estadísticas entre los detergentes y la adición de los mismos en agua pura, es decir existe un efecto significativo del detergente con incremento de pH.

## b. Conductividad eléctrica

**Tabla 12**

*Valores de conductividad eléctrica ( $\mu S/cm$ ) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	107.5	1210.0	303.0	106.5	1210.5	303.5	104.3	1209.7	302.7
Máximo	119.6	1229.0	644.0	120.1	1229.5	644.5	120.1	1228.7	643.7
Media	111.6	1217.0	502.7	111.1	1217.5	503.1	110.3	1216.7	502.4
D.E.	5.6	8.5	145.2	6.3	8.5	145.2	7.0	8.5	145.2

*Nota:* Análisis de laboratorio

La conductividad eléctrica del agua con adición del detergente Ace mostró una media de  $1217 \mu S/cm$ , es decir se incrementó en diez veces el valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado la conductividad eléctrica disminuyó a  $502.7$ . Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento de la conductividad eléctrica  $1217.5 \mu S/cm$  y se redujo hasta  $503.1$  luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento de la conductividad eléctrica  $1216.7 \mu S/cm$  y luego de ser filtrado se obtuvo una media de  $502.4 \mu S/cm$ .

El aumento de la conductividad es debido a la presencia de iones de carbonatos, fosfatos, silicatos, citratos, sodio, etc. sustancias que se agregan en las fórmulas de los detergentes.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento significativo de la conductividad eléctrica, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar una mayor conductividad, atribuible a los componentes químicos de los mismos, también se evidenció que el filtro de carbón activado consigue reducir este parámetro a la mitad.

**Tabla 13**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	610.550	A	AD	1217.060	A
Ace	610.433	A	ADF	502.727	B
Patito	609.809	A	T	111.006	C

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Una vez sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa para los tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan, de estos resultados se obtuvo que la media de conductividad eléctrica de los tres detergentes en general fue similar. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) presentó la conductividad eléctrica más elevada, mediante la acción del filtro de carbón activado se logró reducir este parámetro en la mitad de dicho valor, la media más baja de conductividad eléctrica se obtuvo en el agua pura.

Del análisis de los resultados para el parámetro de conductividad eléctrica se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir el detergente incrementa la conductividad de manera importante, el filtrado con carbón activado logra reducir la misma casi a la mitad del valor.

**c. Dureza total ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ),**

**Tabla 14**

*Valores de dureza total como  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
Tratamiento	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	473.4	93.4	162.1	467.5	118.4	187.1	451.3	75.4	144.1
Máximo	498.2	96.5	168.0	494.5	121.5	193.0	475.2	78.5	150.0
Media	489.0	94.9	165.8	485.0	119.9	190.8	462.3	76.9	147.8
D.E.	11.1	1.3	2.6	12.4	1.3	2.6	9.8	1.3	2.6

*Nota:* Análisis de laboratorio

La dureza total expresada como  $\text{CaCO}_3$  del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 94.9 mg/L, es decir disminuyó en cinco veces el valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado la dureza total se incrementó a 165.8 mg/L. Para el detergente Ariel también se evidenció una disminución de la dureza total 119.9 mg/L al mezclarse el agua con detergente y se incrementó a 190.8 mg/L luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó una disminución apreciable de la dureza total a 76.9 mg/L y luego de ser filtrado se incrementó a 147.8 mg/L.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe una disminución significativa de la dureza total, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar una menor dureza expresado como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ , atribuible a los componentes ablandadores de los detergentes, también se evidenció que el filtro de carbón activado consigue incrementar este parámetro en casi dos veces.

Se redujo la dureza ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) debido a los agentes suavizadores que son sustancias que se agregan en las fórmulas de los detergentes. Entre los principales agentes suavizantes tenemos: tripolifosfato de sodio, EDTA, carboximetilcelulosa, carbonatos, silicatos y citratos.

**Tabla 15**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para dureza total como  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	265.229	A	T	478.776	A
Ace	249.871	B	ADF	168.133	B
Patito	228.996	C	AD	97.187	C

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa tanto para la marca de detergentes como para los tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan, de estos resultados se obtuvo que la media de dureza total fue mayor para el detergente Ariel, intermedio en Ace y menor en el detergente Patito. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua pura presenta la mayor dureza total, en segundo lugar, el agua más detergente filtrado (ADF) y en tercer lugar el agua más detergente (AD) presentó la dureza total más baja, mediante la acción del filtro de carbón activado se logró incrementar en casi dos veces este parámetro.

Del análisis de los resultados para el parámetro de dureza total se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir

el detergente disminuye la dureza total de manera importante, el filtrado con carbón activado logra incrementar este valor en casi dos veces.

#### d. Alcalinidad $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , amortiguadores del agua

**Tabla 16**

Valores de alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	221.6	6620.0	7250.0	224.4	6650.0	7280.0	229.2	6595.0	7225.0
Máximo	237.5	8320.0	7430.0	232.2	8350.0	7460.0	247.9	8295.0	7405.0
Media	231.0	7516.7	7353.3	228.9	7546.7	7383.3	236.2	7491.7	7328.3
D.E.	6.8	697.2	75.9	3.3	697.2	75.9	8.3	697.2	75.9

Nota: Análisis de laboratorio

La alcalinidad expresada como  $\text{CaCO}_3$  del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 7516.7 mg/L, es decir se incrementó en cinco veces el valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado la alcalinidad disminuyó ligeramente a 7353.3 mg/L. Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento hasta 7383.3 mg/L al mezclarse el agua con detergente y disminuyó ligeramente a 73.83.3 luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento a 7491.7 mg/L de alcalinidad y luego de ser filtrado disminuyó a 7328.3 mg/L.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento importante de la alcalinidad, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar un incremento de la alcalinidad, atribuible a los componentes ablandadores de los detergentes, también se evidenció que el filtro de carbón activado consigue reducir ligeramente este parámetro.

El aumento de la alcalinidad es debido a la presencia de carbonatos que son sustancias alcalinas que se le agregan a los detergentes para tener una mayor acción limpiadora.

**Tabla 17**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para alcalinidad como CaCO<sub>3</sub> (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	5052.967	A	AD	7518.333	A
Ace	5033.667	A	ADF	7355.000	A
Patito	5018.722	A	T	232.022	B

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa para los tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan, de estos resultados se obtuvo que la media de la alcalinidad fue mayor similar en las tres marcas de detergentes. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) presenta la mayor alcalinidad junto con el agua con detergente pasado por el filtro de carbón activado y el agua pura (T) evidenció la media más baja de alcalinidad.

Del análisis de los resultados para el parámetro de alcalinidad se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir el detergente incrementa fuertemente este parámetro, el filtrado con carbón activado logra disminuir ligeramente la alcalinidad sin ser significativa respecto al agua más detergente.

### e. Cloruros

**Tabla 18**

*Valores de cloruros como Cl<sup>-</sup> (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	359.9	13196.0	15995.0	310.4	13276.0	16075.0	307.0	15920.0	235.4
Máximo	365.9	18994.0	17994.0	387.8	19074.0	18074.0	341.0	17919.0	312.8
Media	363.6	16261.7	17327.7	339.9	16341.7	17407.7	326.1	17252.7	264.9
D.E.	2.6	2378.7	942.3	34.2	2378.7	942.3	14.2	942.3	34.2

*Nota:* Análisis de laboratorio

El contenido de cloruros expresado *como Cl<sup>-</sup>* del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 16261.7 mg/L, es decir se incrementó en cuarenta veces al valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado los cloruros mantuvieron su valor en 17327.7 mg/L. Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento hasta 16341.7 mg/L al mezclarse el agua con detergente y permaneció con un valor similar de 17407.7 luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento a 17252.7 mg/L de alcalinidad y luego de ser filtrado disminuyó a 264.9 mg/L.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento importante del contenido de cloruros, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar un incremento importante de cloruros, atribuible a los componentes limpiadores de los detergentes, también se evidenció que el filtro de carbón activado consigue reducir ligeramente este parámetro.

**Tabla 19**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para cloruros como Cl<sup>-</sup> (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	11363.067	A	AD	16618.667	A
Ace	11317.630	A	ADF	11666.733	B
Patito	5947.867	B	T	343.163	C

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa para las marcas de detergentes y tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan con comparaciones específicas, de estos resultados se obtuvo que la media de contenido de cloruros fue mayor en las marcas Ariel y Ace. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) presenta la mayor concentración de cloruros pasado por el filtro de carbón activado y el agua pura (T) evidenció la media más baja concentración de cloruros.

Del análisis de los resultados para el parámetro de contenido de cloruros se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir el detergente incrementa fuertemente este parámetro, el filtrado con carbón activado logra disminuir ligeramente este contenido de cloruros.

## f. Sulfatos

**Tabla 20**

*Valores de sulfatos como  $\text{SO}_4^{-2}$  (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	130.4	7150.0	7780.0	127.2	7235.0	7865.0	107.6	7088.0	7718.0
Máximo	144.8	9920.0	10760.0	145.2	10005.0	10845.0	127.2	9858.0	10698.0
Media	137.2	8706.7	9253.3	137.0	8791.7	9338.3	115.0	8644.7	9191.3
D.E.	5.9	1156.6	1216.8	7.4	1156.6	1216.8	8.7	1156.6	1216.8

*Nota:* Análisis de laboratorio

El contenido de sulfatos expresado como  $\text{SO}_4^{-2}$  del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 8706.7 mg/L, es decir se incrementó en sesenta veces al valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado los sulfatos mantuvieron su valor alrededor de 9253.3 mg/L. Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento hasta 8791.7 mg/L al mezclarse el agua con detergente y permaneció con un valor similar de 9338.3 luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento a 8644.7mg/L de contenido de sulfatos y luego de ser filtrado permaneció en 9191.3 mg/L.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento importante del contenido de sulfatos, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar un incremento importante del mismo, atribuible a los componentes limpiadores de los detergentes, también se evidenció que el filtro de carbón activado no logra reducir este parámetro.

Los sulfatos aumentaron por la presencia del sulfato de sodio como diluyente utilizado en los detergentes.

**Tabla 21**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para sulfatos como  $SO_4$  (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	6088.989	A	ADF	9261.000	A
Ace	6032.400	A	AD	8714.333	A
Patito	5983.667	A	T	129.722	B

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa para los tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan con comparaciones específicas, de estos resultados se obtuvo que la media de contenido de sulfatos fue mayor similar en las tres marcas de detergentes. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) y el agua con detergente filtrada (ADF) presentan los valores más elevados de contenido de sulfatos, mientras que el agua pura (T) evidenció la media más baja concentración de sulfatos.

Del análisis de los resultados para el parámetro de contenido de sulfatos se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir el detergente incrementa fuertemente este parámetro, el filtrado con carbón activado no logra disminuir este contenido de sulfatos.

**g. Sólidos Totales Disueltos = CONDUCTIVIDAD= TOTALES CATIONES Y ANIONES  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ , ETC**

**Tabla 22**

*Valores de sólidos totales disueltos (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Detergente	Ace			Ariel			Patito		
Tratamiento	T	AD	ADF	T	AD	ADF	T	AD	ADF
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	53.9	605.0	162.2	50.4	652.0	209.2	54.5	580.0	137.2
Máximo	57.7	615.0	324.0	56.8	662.0	371.0	62.7	590.0	299.0
Media	55.2	608.3	256.1	54.1	655.3	303.1	57.5	583.3	231.1
D.E.	1.8	4.7	68.6	2.7	4.7	68.6	3.7	4.7	68.6

*Nota:* Análisis de laboratorio

Los valores de sólidos totales disueltos del agua con adición del detergente Ace mostró una media de 608.3 mg/L, es decir se incrementó en once veces al valor inicial del agua pura, luego del filtrado con carbón activado los sólidos disueltos disminuyeron hasta la media de 256.1 mg/L. Para el detergente Ariel también se evidenció un incremento hasta 655.3 mg/L al mezclarse el agua con detergente y disminuyó a un valor de 303.1 luego de ser filtrado. En el caso del detergente Patito también se determinó un incremento a 583.3 mg/L de contenido de sólidos disueltos y luego de ser filtrado disminuyó a 231.1 mg/L.

En general para los tres detergentes evaluados, se determinó que existe un incremento importante del contenido de sólidos totales disueltos, es decir el agua mezclada con detergentes tiende a presentar un incremento importante del mismo, atribuible a la mezcla de un soluto con un solvente, también se evidenció que el filtro de carbón activado logra reducir este parámetro hasta la mitad de su valor.

El aumento de Sólidos Totales Disueltos es debido a la presencia de partículas propias de los detergentes, es decir al añadir cualquier sólido a un líquido, se incrementa los valores de los sólidos disueltos en la misma.

**Tabla 23**

*Prueba de rango múltiple de Duncan para sólidos totales disueltos (mg/L) según tres detergentes en los tratamientos Testigo (T), Agua más Detergente (AD) y agua más detergente luego de ser filtrada (ADF) con carbón activado*

Categoría	Media	Grupos	Categoría	Media	Grupos
Ariel	337.511	A	AD	615.667	A
Ace	306.522	A	ADF	263.400	B
Patito	290.622	A	T	55.589	C

Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí.

Sometida la información al análisis estadístico, se determinó que el análisis de varianza (Anexo 4) resultó con diferencia estadística significativa para los tratamientos ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a continuar con la prueba de rango múltiple de Duncan con comparaciones específicas, de estos resultados se obtuvo que la media de contenido de sólidos totales fue similar en las tres marcas de detergentes. Respecto a los tratamientos se tiene que el agua más detergente (AD) muestra el valor más elevado, seguido del agua más detergente filtrada y con el valor más bajo el agua pura (T).

Del análisis de los resultados para el parámetro de sólidos totales se determinó variaciones estadísticas significativas en el agua con adición de detergente, es decir el detergente incrementa fuertemente este parámetro, el filtrado con carbón activado logra disminuir este contenido de sólidos disueltos hasta en dos veces su valor.

#### 4.1.2. Concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

En la realización del bioensayo, para determinar la letalidad de los detergentes, se realizaron las diluciones a partir de la solución inicial que había sido utilizada para el objetivo anterior, la misma fue de 42 litros de agua y 800 gr. de detergente, esta concentración inicial fue diluida hasta completar 500 ml para cada una de las concentraciones utilizadas. El tiempo de ejecución del ensayo de toxicidad aguda fue de 48 horas para todas las pruebas, siendo lo establecido para estudios de toxicidad aguda.

**Tabla 24**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Ace antes de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración (ml)	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	3	2	3	3	30
40	10	3	3	5	4	40
60	10	5	4	4	4	40
80	10	7	6	5	6	60
100	10	8	8	7	8	80
120	10	10	9	8	9	90

CL<sub>50</sub>= 44.16 (LI=21.22 LS= 63.18)

El agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Ace se obtuvo un 30% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 40% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo también un 40% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 60% de mortalidad, con 100 ml un 80% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 90% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ace fue calculada en 44.16 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población

de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua con detergente Ace presenta toxicidad sobre esta especie.

**Tabla 25**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Ariel antes de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	2	1	3	2	20
40	10	5	4	3	4	40
60	10	4	5	4	4	40
80	10	6	7	5	6	60
100	10	8	8	7	8	80
120	10	8	9	8	8	80

CL<sub>50</sub>=52.71 (LI=14.33 LS=79.37)

El agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Ariel se obtuvo un 20% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 40% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo también un 40% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 60% de mortalidad, con 100 ml un 80% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 80% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ariel fue calculada en 52.71 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua con detergente Ariel presenta toxicidad sobre esta especie.

**Tabla 26**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Patito antes de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	4	3	3	3	30
40	10	4	3	3	3	30
60	10	4	5	6	5	50
80	10	7	8	6	7	70
100	10	8	8	7	8	80
120	10	10	9	8	9	90

CL<sub>50</sub>=38.31 (LI=16.49 LS=57.47)

El agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Patito se obtuvo un 30% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 30% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo un 50% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 70% de mortalidad, con 100 ml un 80% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 90% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ariel fue calculada en 38.31 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua con detergente Patito presenta toxicidad sobre esta especie.

**4.1.3. Concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.**

**Tabla 27**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Ace después de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	1	0	1	1	10
40	10	2	1	1	1	10
60	10	2	1	2	2	20
80	10	3	2	3	3	30
100	10	4	4	5	4	40
120	10	6	7	8	7	70

CL<sub>50</sub>=108.65 (LI=88.68 LS=153.29)

Después de tratar el agua con un filtro de carbón activado, el agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Ace se obtuvo un 10% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 10% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo un 20% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 30% de mortalidad, con 100 ml un 40% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 70% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ace fue calculada en 108.65 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua ya tratada presenta una menor toxicidad a la observada con el agua con detergente sin tratar.

**Tabla 28**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Ariel después de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	0	2	1	1	10
40	10	2	3	2	2	20
60	10	3	4	3	3	30
80	10	4	4	3	4	40
100	10	5	4	4	4	40
120	10	6	6	7	6	60

CL<sub>50</sub>=99.22 (LI=47.76 LS=163.70)

Después de tratar el agua con un filtro de carbón activado, el agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Ariel se obtuvo un 10% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 20% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo un 30% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 40% de mortalidad, con 100 ml un 40% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 60% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ariel fue calculada en 99.22 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua ya tratada presenta una menor toxicidad a la observada con el agua con detergente sin tratar.

**Tabla 29**

*Mortalidad sobre Daphnia pulex producida por el detergente Patito después de ser tratada con el filtro de carbón activado y su concentración letal media (CL<sub>50</sub>)*

Concentración	N	Rep1	Rep2	Rep3	Total	Mortalidad (%)
0	10	0	0	0	0	0
20	10	1	1	2	1	10
40	10	2	2	1	2	20
60	10	2	2	3	2	20
80	10	3	2	3	3	30
100	10	5	4	5	5	50
120	10	7	7	8	7	70

CL<sub>50</sub>=103.84 (LI=81.37 LS=160.58)

Después de tratar el agua con un filtro de carbón activado, el agua pura no presentó mortalidad alguna, con la concentración de 20 ml de detergente Patito se obtuvo un 10% de mortalidad de los individuos de *Daphnia pulex*, con 40 ml se tiene un 20% de mortalidad, con 60 ml se obtuvo un 20% de mortalidad, con 80 ml de detergente se tiene 30% de mortalidad, con 100 ml un 50% y con la concentración máxima de 120 ml de detergente se obtuvo 70% de mortalidad de los individuos.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del detergente Ariel fue calculada en 103.84 ml, con esta concentración se produciría la muerte del 50% de la población de *Daphnia pulex*, lo que indica que esta agua ya tratada presenta una menor toxicidad a la observada con el agua con detergente sin tratar.

**Tabla 30**

*Concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de tres detergentes antes y después de ser tratadas con filtro de carbón activado*

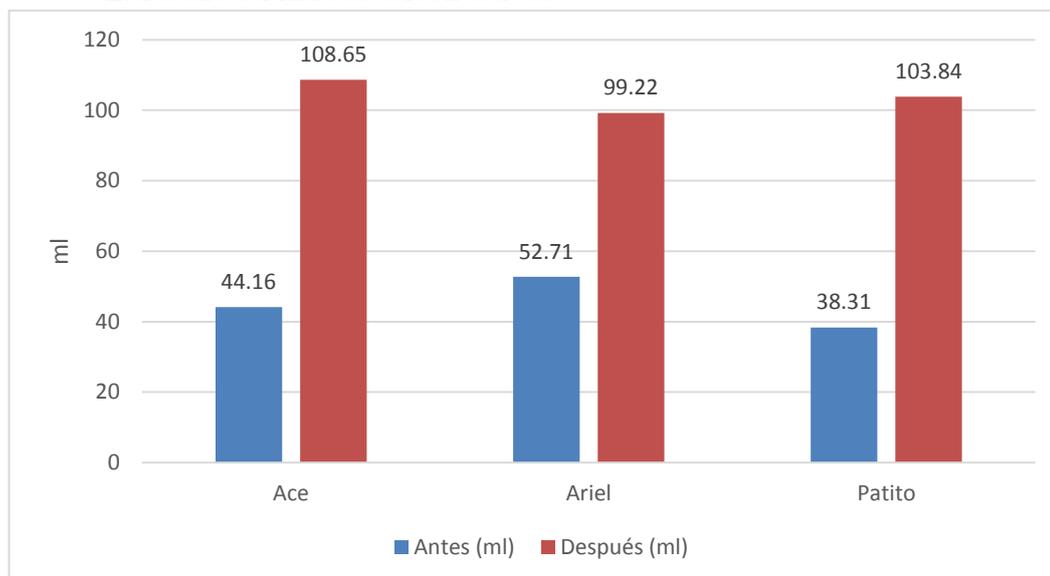
Detergente	Antes (ml)	Después (ml)	Reducción de toxicidad (veces)
Ace	44.16	108.65	2
Ariel	52.71	99.22	2
Patito	38.31	103.84	3

Cuando se incrementa la concentración letal media ( $CL_{50}$ ) indica que la toxicidad disminuye, puesto que se requiere una mayor concentración de la sustancia tóxica (detergente) para producir la muerte del 50% de la población de individuos.

En general los tres detergentes muestran toxicidad sobre el organismo de prueba (pulga de agua), con el uso de carbón activado se logra reducir su toxicidad, en términos de concentración letal media ( $CL_{50}$ ).

**Figura 05**

Estructura del filtro de carbón activado



Para el detergente Ace se tiene una disminución de toxicidad de 2 veces, es decir el filtro de carbón activado demostró disminuir la toxicidad del agua con detergente. Para el caso del detergente Ariel también se disminuyó la toxicidad en 2 veces, mientras que para el detergente Patito se consiguió reducir la toxicidad en 3 veces con el uso del filtro de carbón activado.

Si bien la toxicidad de los detergentes se mantiene en el agua después de su tratamiento con carbón activado, se evidencia una reducción de la misma entre 2 a 3 veces, lo cual se considera como significativo para reducir los efectos perjudiciales que podrían causar a los organismos vivos en ambientes acuáticos.

#### 4.2. Contrastación de hipótesis.

##### a. Hipótesis general

##### Planteamiento de hipótesis

Ha: Se logra reducir la toxicidad de aguas contaminadas por detergentes sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua mediante un filtro de carbón activado.

Ho: No se logra reducir la toxicidad de aguas contaminadas por detergentes sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua mediante un filtro de carbón activado.

##### Valores de prueba

Detergente	Antes (ml)	Después (ml)
Ace	44.16	108.65
Ariel	52.71	99.22
Patito	38.31	103.84

##### Estadístico de prueba

Prueba T de Student, la cual permite comparar un conjunto de valores antes y después de tratar las aguas con el filtro de carbón activado, siguiendo la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\underline{X}_1 - \underline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$\underline{X}_1$  y  $\underline{X}_2$ : Son las medias de cada grupo

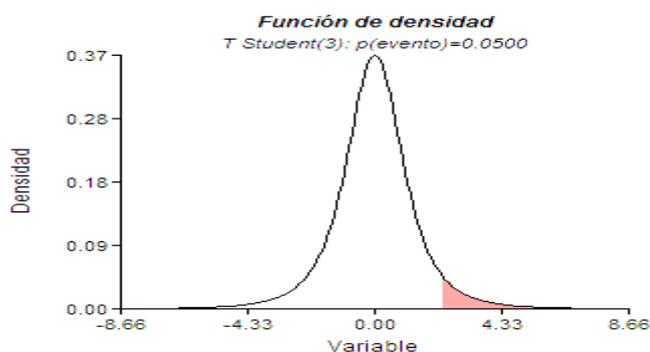
Tc: Valor calculado de t de Student

S: Desviación estándar

N: Tamaño de muestra

### Resultados e interpretación

Estadísticos	Valor
Diferencia	-58.843
t (Valor observado)	-11.794
t  (Valor crítico)	2.776
GL	4
valor-p (bilateral)	0.0001
alfa	0.05



Como el valor calculado de t de Student (11.794) es mayor al valor crítico (2.776) encontrándose en la zona de aceptación, se determina que existe diferencia estadística significativa ( $p=0.0001$ ), con lo cual se acepta la hipótesis general planteada en el estudio: Se logra reducir la toxicidad de aguas contaminadas por detergentes sobre (*Daphnia pulex*) pulga de agua mediante un filtro de carbón activado.

#### b. Hipótesis específica 1

##### Planteamiento de hipótesis

Ha: Los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado, presentan diferencias significativas.

Ho: Los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado, no presentan diferencias significativas.

### Valores de prueba

Los valores analizados se muestran en las tablas 8 a 20.

### Estadístico de prueba

Prueba T de Student, la cual permite comparar un conjunto de valores antes y después de tratar las aguas con el filtro de carbón activado, siguiendo la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ : Son las medias de cada grupo

Tc: Valor calculado de t de Student

S: Desviación estándar

n: Tamaño de muestra

### Resultados e interpretación

Parámetro	Ace	Ariel	Patito
pH	0.0154	0.0154	0.0154
Conductividad eléctrica	0.0023	0.0023	0.0023
Dureza total	0.0001	0.0001	0.0001
Alcalinidad	0.7584	0.7584	0.7584
Cloruros	0.5874	0.5874	0.0001
Sulfatos	0.6691	0.6691	0.6691
Sólidos disueltos totales	0.0019	0.0019	0.0019

Nota: valor de  $p < 0.05$  es estadísticamente significativo

Puesto que 13 de 21 comparaciones resultaron ser significativas, se acepta la hipótesis alterna planteada en el estudio: Los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado, presentan diferencias significativas.

### c. Hipótesis específica 2

#### Planteamiento de hipótesis

Ha: Existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

Ho: No existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

#### Valores de prueba

Los valores analizados se muestran en las tablas 22 a 27.

#### Estadístico de prueba

Prueba de regresión no lineal con transformación Probit.

#### Resultados e interpretación

Detergente	CL <sub>50</sub>	LI	LS
Ace	44.16	21.22	63.18
Ariel	52.71	14.33	79.37
Patito	38.31	16.49	57.47

Nota: LI: Límite inferior; LS: Límite superior

Puesto que los resultados permitieron los cálculos requeridos para la realización de la regresión no lineal con transformación Probit, se acepta la hipótesis planteada en el estudio: Existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

### d. Hipótesis específica 3

#### Planteamiento de hipótesis

Ha: Existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

Ho: No existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

### Valores de prueba

Los valores analizados se muestran en las tablas 22 a 27.

### Estadístico de prueba

Prueba de regresión no lineal con transformación Probit.

### Resultados e interpretación

Detergente	CL <sub>50</sub>	LI	LS
Ace	108.65	88.68	153.29
Ariel	99.22	47.76	163.7
Patito	103.84	81.37	160.58

Nota: LI: Límite inferior; LS: Límite superior

Puesto que los resultados permitieron los cálculos requeridos para la realización de la regresión no lineal con transformación Probit, se acepta la hipótesis planteada en el estudio: Existe una concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.

### 4.3. Discusión de resultados.

Los resultados del estudio permiten afirmar que el agua con contaminación de detergentes produce un efecto directo en los parámetros físicos de la misma, se evidencia un incremento del pH, conductividad eléctrica, dureza total, cloruros, sólidos disueltos totales, alcalinidad y sulfatos (Anexo 7). Mediante el tratamiento de estas aguas con un filtro de carbón activado se logró reducir la mayoría de dichos parámetros de forma significativa ( $p < 0.05$ ), excepto para el contenido de la alcalinidad y sulfatos. Respecto al

ensayo de toxicidad aguda se determinó que el filtro de carbón activado reduce la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de esta agua con detergente, este tratamiento reduce en dos veces la toxicidad la acción de los detergentes Ace y Ariel y logra la reducción en tres veces la toxicidad del detergente Patito.

Respecto a la eficiencia del filtro de carbón activado, se debe considerar la posibilidad de utilizar algún sistema de agitación que permita un mejor contacto del detergente con las partículas del carbón y conseguir así un mejor nivel de adsorción, como ha sido señalado en otro estudio que utilizó de forma adicional un sistema de agitación (Casallas e Ibañez, 2008).

Al respecto Insua *et al* (2010) y Jimenez *et al* (2015), concluyen en sus estudios que los detergentes presentan una elevada acción tóxica en organismos acuáticos, lo cual se explica por la composición química de los mismos, en nuestro estudio corroboramos al obtener una alta mortalidad de *Daphnia pulex* al ser expuestas al agua con detergente. Así también Misik *et al.* (2012) señala que los detergentes tienen efecto tóxico en animales mamíferos como las ratas Wistar al ser inyectados con ellos, por lo cual los detergentes deben ser utilizados con precaución y mantenerlos alejados de los niños.

También Ndome, Mowang, & Ayibaemi (2013) indican que analizando la toxicidad aguda de los detergentes (entre ellos Ariel) mostraron un efecto toxico evidente sobre alevines de peces, entre la sintomatología observada señalan alteraciones respiratorias, pérdida del equilibrio de enderezamiento, letargo y muerte repentina, además recomiendan que los detergentes no deben

verterse indiscriminadamente en los cuerpos de agua para evitar daños a los peces y otras formas de vida acuática, estos síntomas también fueron observados en nuestro estudio, pues se realizó la estimulación mecánica para verificar la muerte de los individuos.

En este sentido Peraza & Delgado (2012) probaron el efecto tóxico de detergentes biodegradables, señalan que aun con esta denominación los mismos presentaron toxicidad aguda sobre un organismo acuático, señalando que todos los detergentes presentan en una su composición insumos químicos limpiadores. También Jawahar *et al* (2015) sugiere que la mortalidad podría estar en relación a la concentración y tiempo de exposición al detergente, en nuestro estudio realizamos un bioensayo de toxicidad aguda.

Respecto a los efectos Chandanshive (2013) señala que los peces de prueba exhibieron varios cambios de comportamiento antes de la muerte, como inquietud, natación rápida y pérdida de equilibrio, dificultad respiratoria y hemorragia de los filamentos branquiales, en nuestro estudio la principal característica observable fue la pérdida de motilidad.

Respecto al uso de filtros de carbón activado se tiene que Casallas & Ibañez (2008) indican que se logró que el filtro remueva la mayor parte de detergente, respecto a las mediciones anteriores y posteriores a su aplicación, con ello se reduce también su toxicidad, en nuestro estudio se redujo la toxicidad, pero no se llegó a remover el 100% del detergente en el agua. También Chambi (2018) señala que mediante la alta capacidad de adsorción del carbón activado en polvo se logró remover la mayor parte de detergente.

Maldonado (2008) indica que el carbón activado obtenido a partir de hueso de palmiste presentó una capacidad de adsorción alta del lauril sulfato de sodio, un componente importante de los champús para el cabello, corroborando la alta capacidad de adsorción de este carbón.

De los resultados y el análisis de la revisión de bibliografía relevante, se tiene que la adición de detergente al agua, provoca cambios importantes en la composición de los parámetros fisicoquímicos de la misma, los cuales tienen por tanto un efecto tóxico agudo sobre un organismo acuático (*Daphnia pulex*), como propuesta para resolver este problema ambiental se propuso el uso de un filtro de carbón activado, demostrándose que su uso reduce la toxicidad del agua con detergente, si bien el tratamiento con este filtro no consigue remover el 100% del detergente si contribuye a disminuir su efecto tóxico.

Respecto al efecto específico de la toxicidad de los detergentes en el organismo acuático de prueba *Daphnia pulex*, se explica porque los detergentes constituyen un grupo muy heterogéneo de sustancias, sin embargo una característica común es que poseen en su molécula dos zonas, una hidrofílica, y otra lipofílica, los grupos polares de la zona hidrofílica pueden causar profundos cambios en las propiedades de las membranas celulares a bajas concentraciones de detergente, hasta efectos drásticos de rotura y desorganización celular total a altas concentraciones (García-Gurtubay, 2015).

Los detergentes disueltos en el agua al encontrarse en contacto externo e interno con el organismo acuático por el proceso de respiración, al entrar en contacto con la membrana celular en el caso de bajas concentraciones, se ha descrito la producción de desplazamiento o incremento del calcio unido a la membrana, la fluidificación y disminución de la densidad de la membrana, mientras que cuando las concentraciones del detergente son elevadas en el medio se produce la lisis o ruptura de la célula como se ha observado en los eritrocitos.

En investigaciones utilizando eritrocitos, el proceso de lisis por surfactantes (detergentes) se sigue por medio de la liberación de hemoglobina, en el proceso del efecto tóxico se proponen cuatro fases; (a) adsorción de monómeros del surfactante (detergente), (b) penetración en la membrana, (c) alteración en la organización molecular con rompimiento de la membrana y (d) salida de hemoglobina, con lo cual el organismo muere en un tiempo relativamente corto. Las observaciones realizadas hasta el momento a nivel microscópico respaldan el proceso señalado y que causa la mortalidad como se demuestra en los resultados del presente estudio (García-Gurtubay, 2015).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Mediante el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado, se consiguió reducir su toxicidad sobre *Daphnia pulex* (pulga de agua), elevando la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de los tres detergentes evaluados (Ace, Ariel y Patito).

El tratamiento de aguas con detergentes mediante filtro de carbón activado, demostró ser eficiente: el pH se redujo de 10.51 a 10.1 unidades, la conductividad eléctrica se redujo de 1217.06 a 502.727  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la dureza total fue reducida de 478.776 a 168.133 mg/L, los cloruros disminuyeron de 16618.667 a 11666.733 mg/L, los sólidos totales disueltos disminuyeron de 615.667 a 263.4 mg/L, la alcalinidad y sulfatos no redujeron sus concentraciones con el tratamiento del filtro.

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado, fue determinada para el detergente Ace en 44.16 ml, Ariel con 52.71 ml y Patito 38.31 ml, estas son las concentraciones cuya letalidad se expresaría en la mortalidad de un 50% de la población de individuos de *Daphnia pulex*.

La concentración letal media ( $CL_{50}$ ) del agua con detergentes sobre *Daphnia pulex*, luego de ser tratadas con un filtro de carbón activado, fue determinada para el detergente Ace en 108.65 ml, Ariel con 99.22 ml y Patito 103.84 ml, estas son las concentraciones cuya letalidad se expresaría en la mortalidad de un 50% de la población de individuos de *Daphnia pulex*, la reducción de toxicidad mediante el filtro de carbón activado fue de 2 veces para Ace y Ariel, para Patito la reducción fue de 3 veces.

## **5.2. Recomendaciones**

- Continuar el estudio para mejorar el filtro de carbón activado y lograr una mayor reducción de la toxicidad del agua con detergente, ya sea incrementando el número de filtros en serie o probando otras sustancias adsorbentes.
- Efectuar estudios de bioensayos de toxicidad de los detergentes en otros organismos acuáticos como alevinos de peces nativos del lago Titicaca.
- Realizar ensayos de toxicidad aguda y crónica en plantas, para evaluar la posibilidad de utilizar el agua con presencia de detergentes en el riego de plantas ornamentales.
- Diseñar sistemas de tratamiento de aguas con proceso de recirculación para utilizar el agua contaminada por detergentes en el uso de inodoros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Casallas, N. D., & Ibañez Acosta, K. A. (2008). Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de detergentes aniónicos de una solución preparada con características de una lavandería tipo con el fin de reducir la concentración letal media (CL50-48) para *Daphnia pulex*. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/237](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/237)
- Casallas, N., & Ibañez, K. (2008). Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de detergentes anionicos de una solución preparada con características de una lavandería tipo con el fin de reducir la concentración letal media (CL50-48) para *Daphnia pulex*. Universidad de La Salle.
- Castiglioni, M., & Collins, P. (2010). Efecto De Un Detergente Biodegradable Agua En La Reproduccion De *Daphnia Magna*. *The Biologist*, 8(1816–719), 43–53.
- Chambi, Z. (2018). Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción. Universidad Nacional del Altiplano.
- Chandanshive, E. (2013). Studies on Toxicity of Detergents to *Mystusmontanus* and Change in behaviour of Fish. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 1(9), 14–19.
- Corbitt, R. (2003). “Manual de referencia de la Ingeniería Medioambiental”. Editorial McGraw Hill. España.
- Cuevas, M. (2001). Caracterización de tensioactivos para formulación de detergentes líquidos. Trabajo de investigación. Memoria del Programa de

Doctorado Tecnología y Calidad de los Alimentos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Granada.

Dorado, A. (1996). Detergentes, (1ª Edición). Universidad Nacional de Educación a Distancia. LerkoPrint, S.A. Madrid. España.

Espindola, C. (2000). Prácticas de Biología de Organismos Multicelulares. Javeriana. Editorial Pontificia Universidad Javeriana 99 pág.

García-Gurtubay (2015). Efectos del detergente no iónico tritón x-100 sobre las membranas mitocondriales. Tesis. Universidad Complutense de Madrid. España. 288 p.

Gil R, M. (2005). Procesos de descontaminación de Aguas, cálculos avanzados, informatización. Madrid: Editorial Thomson.

Hogan, M. (2008). “Makgadikgadi”. The Megalithic Portal. <http://www.megalithic.co.uk/article.php?sid=22373&mode=&order=0>.

INEI Perú Sistema Nacional de Estadística “Perú Compendio Estadístico 2000”, Edit. INEI, páginas 61, 82, 297 -298 (2000).

Insua, D., García, C., Monteagudo, A., Vásquez, Z., & Marcel, A. (2010). Evaluación ecotoxicológica de detergentes comerciales y naturales, como criterio de contaminación ambiental. Revista Electrónica de Veterinaria, 11(4), 1-9.

Jawahar, A., Ayesha, M., Kumar, A., & Chittrarasu, P. (2015). Acute toxicity of detergent to Indian major carps *Catla catla* and *Labeo rohita*. Pelagia Research, 5(1), 30-33.

- Jimenez, L., Valero, O., & Mendoza, A. (2015). Efecto tóxico de cuatro detergentes en las postlarvas de langostino *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae). *AMEQA*, 12(2), 11.
- Koci, V. (2000). Toxicity of zeolite containing detergents. *Environmental Chemistry*, 1(5), 182–185.
- Lechuga, M. (2005). Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales. Universidad de Granada. Retrieved from <http://0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es/tesisugr/15522052.pdf>.
- León, M. (2006). Efecto ecotoxicológico de los detergentes biodegradables en la trucha “arco iris” *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), en el centro piscícola “El Ingenio”-Huancayo. Universidad Mayor de San Marcos.
- Maldonado, P. S. L. (2008). Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado. Ecuador, Quito.
- Misik, J., Vodakova, E., Pavlikova, R., Cabal, J., Novotny, L., & Kuca, K. (2012). Acute Toxicity of Surfactants and Detergent-Based Decontaminants in Mice and Rats. *Military Medical Science Letters*, 81(4), 171–176.
- Myers, D. (1992). *Surfactant science and technology*, (2ª Edición). VCH Publishers, Inc. Nueva York. E.E.U.U.
- Ndome, C., Mowang, D., & Ayibaemi, T. (2013). Comparative acute toxicity of local detergents (Omo and Ariel) on fingerlings of the *Clarias gariepinus* x *Heterobranchus longifilis* hybrid. *International Journal of the Bioflux Society*, 6(4), 415–420.

- Perales, J., Manzano, M., Sales, D. y Quiroga, J. (1999). Linear alkylbenzenesulphonates: biodegradability and isomeric composition. *Environmental Contamination and Toxicology* 63: 94-100.
- Perales, J.A. (2001). Variabilidad de la biodegradación y toxicidad de compuestos xenobióticos en el medio marino. Aplicación a lineal alquilbencenosulfonatos en aguas del golfo de Cádiz. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz.
- Peraza, R., & Delgado-Blas, V. (2012). Determinación de la concentración letal media (CL50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (webster 1879) (polychaeta: Annelida). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 137–144.
- Reish, D. y Oshida, P. (2010). *Manual of methods in aquatic environment research*. part 10 – short-term static bioassays. EE.UU.
- Rios, C. (2012). *Estadística y diseño de experimentos*: Universidad Nacional de Ingeniería. Primera edición. Editorial universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería. 217pp
- Romero, J. (2002). *Purificación de agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Solans, C., Esquena, J., Azemar, N., García, Celma, M. (2001). Sistemas tensioactivos coloidales: microemulsiones y sus aplicaciones como medios de solubilización y reacción. *Química e Industria*; 522 (522): 423-430.

US Environmental Protection Agency (EPA). (2002). US EPA: Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. Environmental Protection, 232(October), 266. <https://doi.org/Fifth Edition October 2002>

Varela, R. (2005). Determinación del nivel de toxicidad aguda del fungicida carbendazim y el herbicida 2,4 d mediante bioensayos con *Galaxias maculatus*. Tesis para Optar al Grado de Licenciado en Recursos Naturales. Chile. Universidad Católica de Temuco.65 pp.

Visitación, F. (2004). Degradación Fotocatalítica de Detergentes en Efluentes Domésticos. Tesis para optar el grado de Magister en Química. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.

## ANEXOS

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Definición del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Índices
<p><b>General</b> ¿Será efectivo el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado para reducir su toxicidad sobre (<i>Daphnia pulex</i>) pulga de agua?</p> <p><b>Específicos</b> ¿Cuáles serán los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado?</p> <p>¿Cuál será la concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado?</p> <p>¿Cuál será la concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado?</p>	<p><b>General</b> Evaluar el tratamiento de aguas contaminadas por detergentes con filtro de carbón activado para reducir su toxicidad sobre (<i>Daphnia pulex</i>) pulga de agua.</p> <p><b>Específicos</b> Analizar los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado.</p> <p>Determinar la concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.</p> <p>Calcular la concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.</p>	<p><b>General</b> - Se logra reducir la toxicidad de aguas contaminadas por detergentes sobre (<i>Daphnia pulex</i>) pulga de agua mediante un filtro de carbón activado.</p> <p><b>Específicos</b> -Los parámetros fisicoquímicos del agua con detergentes antes y después del tratamiento con un filtro de carbón activado, presentan diferencias significativas.</p> <p>-Existe una concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, antes de ser tratadas con un filtro de carbón activado.</p> <p>-Existe una concentración letal media (CL50) del agua con detergentes sobre <i>Daphnia pulex</i>, después de ser tratadas con un filtro de carbón activado.</p>	<p>Calidad de agua</p> <p>Detergentes comerciales</p> <p>Concentración letal media</p>	<p>-pH -Conductividad eléctrica -Dureza total -Alcalinidad -Cloruros -Sulfatos -Sólidos disueltos totales.</p> <p>Concentraciones</p> <p>Mortalidad de <i>Daphnia pulex</i></p>	<p>°C, Unidades, NTU, uS/cm, mg/L.</p> <p>0, 20, 40, 60, 80, 100 120 mg/L</p> <p>Número de individuos muertos</p>