

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**TOXICIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO  
COATA APLICADOS SOBRE *Daphnia pulex*, COATA – PUNO**

**PRESENTADO POR:**

**RAMIRO DIDI CORNEJO CALVO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

TOXICIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO

COATA APLICADOS SOBRE *Daphnia pulex*, COATA – PUNO

PRESENTADO POR:

RAMIRO DIDI CORNEJO CALVO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

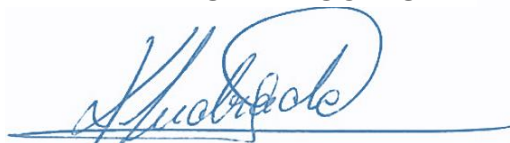
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:   
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA


PRIMER MIEMBRO

:   
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:   
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:   
M.Sc. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ciencias Naturales

Disciplina: Oceanografía, Hidrografía y Recursos del Agua

Especialidad: Evaluación y Monitoreos Ambientales, Ecosistemas Acuáticos

Puno, 07 de febrero de 2022.

**DEDICATORIA**

Con profundo agradecimiento a Dios y a mi Mamá: María Calvo, pues sin ella y su bendición en mi vida no lo habría logrado, gracias mamá por protegerme a diario y darme los valores, principios y moral que practicaste y nos enseñaste con tu ejemplo.

Ramiro Didi.

## AGRADECIMIENTOS

A toda la plana docente de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la UPSC de Puno, quienes me impartieron sus conocimientos y consejos acertados, para forjar mi futuro profesional.

A mis hermanas y hermanos por el apoyo incondicional que me brindaron a diario.

A mi novia que impulsó de manera desinteresada mis estudios.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>

## CAPÍTULO I

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA  
INVESTIGACIÓN**

<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>3</b>
<b>1.2 ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	8

## CAPÍTULO II

**MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
2.1.1. Importancia del agua	9
2.1.2. Cuenca del río Coata	9
	iii

2.1.3. Contaminación del río Coata por metales pesados	10
2.1.4. Ecotoxicología y su importancia	10
2.1.5. Toxicidad de sedimentos y agua	11
2.1.6. Ensayos con Daphnia sp	11
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	11
2.2.1. ECOTOXICOLOGÍA	11
2.2.2. BIOENSAYO	12
2.2.3. CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL50)	12
2.2.4. CONCENTRACIÓN EFECTIVA MEDIA CE50	12
2.2.5. ELUTRIADO	13
2.2.6. TOXICIDAD AGUDA	13
2.2.7. TOXICIDAD CRÓNICA	13
2.2.8. CALIDAD DEL AGUA	13
2.2.9. CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA	14
2.2.10. BIOINDICADORES	14
2.2.11. ZOOPLANCTON	14
2.2.12. CLADÓCEROS	15
2.2.13. UTILIZACIÓN DE Daphnia sp	15
2.2.14. COPÉPODOS	15
2.2.15. LAGO TITICACA	15
2.2.16. ESPECIES ENDÉMICAS Y AMENAZADAS EN EL LAGO TITICACA	16
2.2.17. CUENCA DEL RÍO COATA	16
2.2.18. DESEMBOCADURA	16
2.2.19. SEDIMENTOS FLUVIALES	17
2.2.20. ZONA DE MEZCLA DE AGUAS	17
<b>2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	17
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	17
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1	17
2.3.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	18

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>20</b>
<b>3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS</b>	<b>21</b>
3.3.1 Determinación de la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre <i>Daphnia pulex</i> .	21
3.3.1.1 Muestreo de agua	21
3.3.1.2 Ensayo de toxicidad del agua	22
3.3.2 Determinación de la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i> .	22
3.3.2.1 Método de muestreo de sedimentos	22
3.3.2.2 Ensayo de toxicidad de los sedimentos	23
3.3.3 Procedimientos de las pruebas de ensayo	24
3.3.3.1 Obtención de los organismos de prueba	24
3.3.3.2 Distribución de subunidades de prueba	24
3.3.3.3 Condiciones para las pruebas de toxicidad aguda	25
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>26</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>26</b>
<b>3.6. MATERIALES</b>	<b>27</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. Objetivo específico NO 1: Determinación de la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre <i>Daphnia pulex</i>.</b>	<b>29</b>
4.1.2. Objetivo específico NO 2: Determinación de la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i> .	35
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>43</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo - UTM WGS84	21
Tabla 2. Mortandad registrada a las 48 horas para los puntos 1, 2 y 3.	30
Tabla 3. Estimación de coeficientes para la regresión Probit – Puntos 1, 2 y 3.	34
Tabla 4. Prueba de chi cuadrado.	34
Tabla 5. Mortandad registrada a las 48 horas para los puntos 4, 5 y 6.	37
Tabla 6. Estimación de coeficientes para la regresión Probit – Puntos 4, 5 y 6.	41
Tabla 7. Prueba de chi cuadrado	41
Tabla 8. Matriz de consistencia	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Mapa de ubicación de puntos de muestreo - UTM WGS84 Zona 19S.	20
Figura 02. Distribución de subunidades de muestra para el ensayo	25
Figura 03. Porcentaje de mortandad del punto 1.	31
Figura 04. Porcentaje de mortandad del punto 2.	32
Figura 05. Porcentaje de mortandad del punto 3.	32
Figura 06. Comparativa de eventos de mortandad entre los puntos 1, 2 y 3.	33
Figura 07. Porcentaje de mortandad del punto 4.	38
Figura 08. Porcentaje de mortandad del punto 5.	39
Figura 09. Porcentaje de mortandad del punto 6.	39
Figura 10. Comparativa de eventos de mortandad entre los puntos 4, 5 y 6.	40
Figura 11. Toma de muestras de agua del punto 6.	52
Figura 12. Ubicación del punto 1 en el río Coata.	52
Figura 13. Toma de muestras del punto 1.	53
Figura 14. Introducción de <i>Daphnia pulex</i> en medios de prueba.	54
Figura 15. Medio de estabilización de especímenes.	54
Figura 16. Control de la temperatura, pH y oxígeno en unidades de prueba.	55

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 01. Fotografías de la Investigación	52
Anexo 02. Matriz de Consistencia	56
Anexo 03. Ficha de consolidado de control de mortandad en ensayo de laboratorio	57
Anexo 04. Constancia de ejecución de pruebas de ensayos toxicológicos	58

**LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

ANA	Autoridad Nacional del Agua.
CENMA	Centro Nacional del Medio Ambiente.
CL50	Concentración letal media.
CL50-48h	Concentración letal media a las 48 horas.
CR	Peligro crítico.
EN	En peligro.
ECA	Estándares de Calidad Ambiental.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
MINSA	Ministerio de Salud.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
SIAR	Sistema Regional de Información Ambiental.
USGS	United States Geological Survey.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la toxicidad del agua y sedimentos del río Coata utilizando neonatos del cladóceros *Daphnia pulex* como sujeto de prueba. El tipo de investigación fue de diseño cuasiexperimental, en donde, se evaluó la toxicidad de 3 muestras de agua y tres muestras de sedimentos del río Coata extraídas el mes de setiembre del 2021, en ambos casos las muestras fueron compuestas para asegurar la representatividad del ensayo. Para la determinación de la CL50-48h el ensayo se realizó con cinco concentraciones de agua y elutriado de sedimentos (100%, 50%, 25% 12.5% y 6.25%) por punto más un grupo de control. Los resultados obtenidos se evaluaron mediante el modelo de regresión Probit. Se obtuvo que la CL50-48h de las muestras de agua fue de 171.3% para el primer punto, CL50-48h =75% para el segundo punto y CL50-48h = 177.3% para el tercer punto. En cuanto a las muestras de sedimentos se obtuvo que la CL50-48h para el cuarto punto fue de 80.4%, CL50-48h =70.5% para el punto 5 y CL50-48h =92.9% para el punto 6. Concluyendo que los sedimentos presentaron mayor grado de toxicidad que las muestras de agua.

**Palabras clave:** Agua, elutriado, sedimento, toxicidad, Probit.



## ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of determining the toxicity of the water and sediments of the Coata River using neonates of the cladoceran *Daphnia pulex* as a test subject. The toxicity of 3 water samples and three sediment samples from the Coata River extracted in September 2021 were evaluated, in both cases the samples were composed to ensure the representativeness of the test. To determine the LC50-48h, the test was performed with five contractions of water and sediment elutriation (100%, 50%, 25%, 12.5% and 6.25%) per point plus a control group. The results obtained were evaluated using the Probit regression model. It was obtained that the LC50-48h of the water samples was 171.3% for the first point, LC50-48h = 75% for the second point and LC50-48h = 177.3% for the third point. Regarding the sediment samples, it was obtained that the LC50-48h for the fourth point was 80.4%, LC50-48h = 70.5% for point 5 and LC50-48h = 92.9% for point 6. Concluding that the sediments presented a higher degree of toxicity than water samples.

**Keywords:** Water, elutriate, sediment, toxicity, Probit.

## INTRODUCCIÓN

La conservación del agua dulce es un tema prioritario debido a que es un recurso cada vez más escaso y difícil de obtener, donde hay que considerar también que además de la demanda poblacional, agrícola e industrial, los mismos ecosistemas acuáticos tienen una demanda para poder subsistir. Estos ecosistemas acuáticos proveen de servicios como la provisión de agua y alimentos, la regulación del clima, calidad del agua, sequías, productividad del ecosistema acuático, además de servicios culturales como recreación, ecoturismo y belleza escénica, y esta demanda no solo se trata de un volumen de agua sino también de la calidad de ésta, condición que puede cambiar el funcionamiento del ecosistema y producir su degradación como se ha visto en diversos lugares del planeta, donde las aguas pueden llegar a ser nocivas para los organismos acuáticos.

La ecotoxicología o toxicología ambiental nos permite conocer los efectos que producen los contaminantes sobre las poblaciones de un determinado hábitat, de modo que permiten prevenir eventos de mortandad, o efectos crónicos de dichos contaminantes que podrían venir de fuentes como sedimentos, vertimiento de aguas industriales o de plantas de tratamiento, derrames químicos, u otros.

La toxicología ambiental hace uso de organismos de fácil reproducción, mantenimiento y amplia distribución, los que además han sido estudiados también ampliamente, hecho que permite su replicabilidad en entornos disímiles, además de requerir un procedimiento de fácil aplicación.

Es por ello que la presente investigación pretende aplicar la ecotoxicología al monitoreo del agua y de los sedimentos del río Coata, cuyas aguas desembocan en el lago Titicaca, luego de haber sido afectado por actividades contaminantes a lo largo de su cauce, como lo son

minería, vertimiento de aguas residuales urbanas e industriales, residuos sólidos, entre otros. Evaluando la toxicidad de los componentes agua y sedimentos de la desembocadura del río Coata haciendo uso de neonatos de *D. pulex* como individuo de prueba y determinando la concentración letal media a las 48 horas en ambos casos.

En el Capítulo I se describe el problema objeto de la investigación, y se plantean los objetivos de la misma. En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico y conceptual además se formula las hipótesis. En el Capítulo III se considera la metodología de la investigación identificando la zona de estudio, la muestra, así como los métodos y técnicas. En el capítulo IV se expone y analiza los resultados obtenidos en la investigación, terminando con las conclusiones y recomendación

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso que a nivel mundial está cada vez más limitado en calidad y cantidad, lo que produciría en los siguientes años la reducción de los servicios ecosistémicos, el incremento de especies en peligro y la fragmentación de ecosistemas acuáticos (Jackson et al., 2001), además de los problemas socioambientales relacionados a los usos poblacionales, como la demanda de acceso a los servicios de agua potable y saneamiento y la competencia que existe ya con los usos industriales y la agricultura, por ello es necesario la mejora de la gestión de este valioso recurso.

El Perú es uno de los países con mayor disponibilidad del agua a nivel mundial, sin embargo, este recurso viene siendo afectado por contaminación causada principalmente por la minería y el uso industrial (ANA, 2017a; MINSA, 2005), así también, por el vertimiento de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente (González et al., 2014). El Titicaca es uno de los sistemas hídricos más importantes en el Perú, pues es fuente de agua para

consumo humano, industrial e importantes proyectos de agricultura, sin embargo, viene siendo afectado también por contaminación provenientes de fuentes antrópicas como el vertimiento de aguas residuales de mala calidad, actividad minera e incluso contaminación por fuentes naturales como los altos niveles de arsénico (George et al., 2014; MINAM, 2013).

El río Coata es uno de los afluentes más importantes del lago Titicaca, considerando que su cuenca tiene un recorrido aproximado de 4881 km, tiene una disponibilidad hídrica de 39.3 m<sup>3</sup>/s y el uso consuntivo del agua de este río representa el 14% de la vertiente del Titicaca (MINAM, 2013). Es entonces importante estudiar este río que está fuertemente perturbado por actividad antrópica principalmente por vertimientos de aguas residuales, además en las zonas altas de esta unidad hídrica, se realizan actividades de acuicultura y minería (ANA, 2012; SENAMHI, 2007). En el entorno de la desembocadura de este río se realizan actividades extractivas como la pesca, extracción de totora y cacería de aves por lo tanto la buena calidad de sus aguas es de importancia.

En la naturaleza pueden ocurrir eventos de descargas accidentales o intencionadas de liberación de sustancias contaminantes que generan efectos negativos crónicos o agudos en los organismos que viven en el entorno. En el río Coata se han venido suscitando eventos de mortandad de peces, aves y anfibios en repetidas ocasiones, hechos que coinciden con las características de un evento de toxicidad aguda, así pues, estos hechos generan las siguientes interrogantes de investigación:

#### 1.1.1. Problema general

- ¿Existirá toxicidad en el agua y los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*?

### 1.1.2. Problemas específicos

- ¿Existirá algún grado de toxicidad en el agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*?
- ¿Existirá algún grado de toxicidad en los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*?

## 1.2. ANTECEDENTES

Silva et al. (2003), en su estudio de “Calibración del bioensayo de toxicidad con *Daphnia pulex*”, indican que en pruebas de laboratorio sometieron a *Daphnia pulex* al tóxico de referencia dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), donde observaron una CL50-24h de 0.145mg/L, así también indican que las poblaciones chilenas tendrían más sensibilidad que las poblaciones del hemisferio norte. De ser esto correcto el uso de *D. pulex* para estas pruebas podría ser un buen indicador de toxicidad para nuestra área de estudio que son poblaciones del hemisferio Sur; los valores aquí encontrados servirán de referencia al evaluar la tolerancia al tóxico de referencia.

Mendoza Cantú et al. (2013), en su estudio “Intercalibración de las pruebas con *Daphnia magna* y *Pseudokirchneriella subcapitata* en México: herramientas potenciales para el monitoreo ambiental” estudió la variabilidad de resultados de pruebas ecotoxicológicas interlaboratorios utilizando como sujeto de prueba *Daphnia magna*, concluyendo que presentó un coeficiente de variabilidad aceptable y que los resultados errados tienen que

ver principalmente con problemas con el manejo de muestras, por lo que en la presente investigación se cuidará estos aspectos.

Rudolph et al. (2010), en su estudio “Calidad ecotoxicológica de sedimentos en sectores del mar interior de Chiloé” encontró que en un entorno costero cerca de balsas jaulas, hubo una reducción en el porcentaje de fecundación (84.56%) de *Arbacia spatuligera*, que fue expuesta a elutriado, así también como diferencias significativas en el crecimiento de otras especies. Esto indica la posibilidad de la toxicidad producto del movimiento de sedimentos provenientes de actividad acuícola lo cual refuerza la importancia de evaluar la toxicidad de sedimentos.

Velandia & Montañez (2010), en su estudio “Determinación de la concentración letal media (CL50-48) del Plomo y Cromo hexavalente mediante bioensayos de toxicidad acuática utilizando *Daphnia Pulex*” en donde encontraron que la CL50 fue de 0.22 ppm utilizando dicromato de potasio como tóxico de referencia, lo que se acerca a lo encontrado por Silva et al. (2003), además indican que pueden existir variaciones en la sensibilidad de los organismos de prueba producto de la manipulación o la exposición a factores externos al laboratorio de pruebas.

Peluso (2011), en su estudio “Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes” encontró que tóxicos como el mercurio pueden no producir mortandad aguda sino efectos subletales a los 21 días en *Hyalella curvispina* expuesta a sedimentos con 2.4 mg Hg/kg, e indica que contaminantes como el mercurio son menos tóxicos en presencia de materia orgánica. Lo que da una idea del tiempo que tardarían algunos contaminantes en hacer efecto sobre los organismos.

MINAM (2013), en el estudio de “Línea Base Ambiental de la cuenca del Lago Titicaca” indica que las cabeceras de las cuencas de los ríos Azángaro, Suches y Coata presentan importantes problemas ambientales debido a la informalidad de la minería que se realiza en

ellas, siendo afectadas por la presencia de relaves mineros, encontrándose también metales pesados como plomo, arsénico y mercurio en sus sedimentos.

ANA (2017a), en el informe de “Fuentes contaminantes en la cuenca del Titicaca” indica que en la cuenca del río Coata existen 09 ciudades con una población total de 280523 habitantes, en donde la ciudad de Juliaca es la que genera la mayor cantidad de aguas residuales provenientes de lagunas de oxidación colapsadas y residuos sólidos provenientes del botadero del Chilla que van a parar al río Coata. Entre los 9 centros urbanos vertían hacia el río Coata y sus afluentes 10.7 hm<sup>3</sup> de aguas residuales crudas a 341.2 L/s

Pascual et al. (2019), en su estudio “Macroinvertebrados bentónicos y ensayos toxicológicos para evaluar la calidad del sedimento del río Rímac, Lima, Perú” realizaron pruebas ecotoxicológicas utilizando *Daphnia magna* y *Chironomus calligraphus* para determinar la calidad del agua y sedimentos del río Rímac, donde encontraron que la toxicidad estuvo sujeta a la temporada de avenidas y estiaje. En volúmenes de agua menores existen mejores condiciones para el desarrollo y reproducción de algunos organismos además de la concentración de sustancias diluidas y otros factores del entorno, esto se deberá tomar en cuenta en el presente estudio.

Carreño et al. (2018), evaluaron la toxicidad de los sedimentos del curso alto del río Lerma (México) utilizando un analizador Microtox®, en donde encontraron que no existió diferencia significativa entre la toxicidad de los sedimentos de época de lluvia y la época de estiaje pero sí hubo diferencias en la variable espacial lo que refleja la importancia de los afluentes que han sido sometidos a intervención antrópica, este resultado se obtuvo de la aplicación de métodos que no permiten la separación de estratos.

SERFOR (2016), en una de sus publicaciones en su portal web reportó la muerte de más de 10 mil ranas en el río Coata en la zona de amortiguamiento de la Reserva nacional del



Titicaca, e indica que los pobladores declaran que podía encontrarse las ranas muertas desde el puente Ccacachi (Juliaca) a través de un recorrido de unos 50 km, no se determinaron las causas de la mortandad, pero este hecho indica la probabilidad de factores nocivos en el agua y quizá en los sedimentos.

Quispe (2017) encontró que las aguas superficiales cercanas a la zona baja del río Coata tuvieron presencia de Al, C y Fe en las zonas de ribera del río, sumado a esto la presencia de vertimientos de aguas residuales de distintas ciudades, principalmente de la provincia de San Román (ANA, 2017a).

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la toxicidad de los componentes agua y sedimento de la desembocadura río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex* mediante pruebas ecotoxicológicas.

#### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.
- Determinar la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Importancia del agua

El agua dulce es un recurso cada vez más escaso, problema que se ve acentuado por el incremento de la población mundial (Miyashiro et al., 2014), que a su vez requiere una mayor demanda principalmente para producir alimentos; América del sur cuenta con la mayor cantidad de agua del mundo y Perú tiene el 1.89% de esa agua que distribuye en su territorio en tres vertientes y una de ella es la vertiente del Titicaca (ANA, s.f.).

##### 2.1.2. Cuenca del río Coata

La cuenca del río Coata está conformado por nueve subcuencas (ANA, 2017a) a lo largo de ella recibe cargas contaminantes provenientes de aguas residuales municipales, metales pesados y lodos provenientes de actividad minera, residuos sólidos, vertidos industriales, etc., la cuenca del río Coata está conformado las siguientes subcuencas:

- Subcuenca del río Paratía
- Subcuenca Jarpaña
- Subcuenca Medio Alto Coata

- Subcuenca Cerrillos
- Subcuenca e intercuenca del Medio Coata
- Subcuenca Cotaña
- Subcuenca Medio Bajo Coata
- Subcuenca Lampa
- Subcuenca Bajo Coata

### **2.1.3. Contaminación del río Coata por metales pesados**

El río Coata recibe carga de metales pesados provenientes de la actividad minera, la zona de la desembocadura también presenta concentración de metales pesados, Quispe (2017), encontró que los valores de Cromo evaluados sobrepasaron los valores de ECA para este metal, encontró también Cadmio y Plomo en sedimentos superficiales, de similar modo Capacoila (2017) encontró valores altos de aluminio, hierro y manganeso en aguas superficiales de la zona baja del río Coata, de modo que la presencia de metales pesados en ambos componentes representa un riesgo para la salud del ecosistema.

### **2.1.4. Ecotoxicología y su importancia**

Conocida también como toxicología ambiental, estudia la exposición incidental de organismos a contaminantes del agua, aire o suelo y mide sus efectos para definir un límite de seguridad de exposición (Espina y Vanegas, 2005). La presencia de sustancias químicas en el medio puede cumplir funciones asociadas a los ecosistemas sin embargo al presentarse en lugares determinados y con especies susceptibles, es cuando se les puede considerar contaminantes (Howell, 1976), entonces es el estudio de esas interacciones lo que permite tomar medidas oportunas para su manejo (Cairns, 1982). Así también los estudios ecotoxicológicos proporcionan información que servirá para establecer normas

para el uso de compuestos químicos (Planes & Fuchs, 2015), tanto en su uso y dosis de tal manera que no se ocasionen alteraciones irreversibles en los ecosistemas (Martí, 2003).

#### **2.1.5. Toxicidad de sedimentos y agua**

La diversidad de contaminantes acumulados en sedimentos como metales y materia orgánica, hacen que puedan convertirse en matrices de alta toxicidad (Aguirre-Martínez et al., 2009), la concentración de contaminantes diferirá de acuerdo a la composición del sedimento, así por ejemplo las partículas de limo y arcilla pueden quedar suspendidas en el elutriado (Miguez et al., 2010). Las sustancias tóxicas pueden producir la muerte, reducción de tasa de supervivencia y biomasa en los ambientes acuáticos (USGS, 2016).

#### **2.1.6. Ensayos con *Daphnia sp***

Los cladóceros del género *Daphnia* vienen siendo los organismos más utilizados en ensayos de toxicidad (SEMARNAT, 2004), ya que están ampliamente distribuidos a nivel global, son de fácil cultivo y pueden tener un alto número de crías (Díaz Báez et al., 2004).

### **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.2.1. ECOTOXICOLOGÍA**

La ecotoxicología puede ser definida como la ciencia que estudia la polución, su origen y efectos sobre los seres vivos y sus ecosistemas, en la ecotoxicología los compuestos químicos son estudiados por su peligrosidad potencial aplicados en determinadas condiciones (Capó Martí, 2007).

### **2.2.2. BIOENSAYO**

Se trata de técnicas estandarizadas realizadas bajo condiciones controladas en laboratorio, en el que se mide los efectos adversos de una sustancia pura o de mezcla sobre la biota, así por ejemplo podrían evaluarse los efectos tóxicos de una sustancia o la capacidad de bioacumulación de una determinada especie, estos procedimientos permiten simular condiciones futuras permitiendo al investigador evitar consecuencias ambientales graves en el futuro (Sierra, 2011).

### **2.2.3. CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL50)**

Es la concentración de un agente tóxico que genera la mortalidad de la mitad de los individuos de una población (Barrios et al., 2016), esta mortandad es medida en un determinado periodo de tiempo, así por ejemplo CL50-24 hace referencia a la concentración letal media a las 24 horas y CL50-48 hace referencia a la concentración letal media a las 48 horas de iniciado el ensayo ecotoxicológico.

### **2.2.4. CONCENTRACIÓN EFECTIVA MEDIA CE50**

Es la concentración de un agente tóxico que genera la inhibición (inmovilización) de la mitad de los individuos de una población (Barrios et al., 2016). La concentración efectiva media no implica necesariamente la muerte de los individuos de prueba, por lo tanto se requiere mayor esfuerzo de observación de los efectos del tóxico de prueba. De similar modo a la concentración letal media, al agregar un número después de las iniciales CE50, se estará indicando el periodo de tiempo de la prueba, de modo que CE50-48 hace referencia a que se medirá la concentración efectiva media hasta las 48 horas de iniciado el ensayo ecotoxicológico.

### **2.2.5. ELUTRIADO**

Fase líquida separada de una muestra de sedimentos mezclados con una fracción de agua, agitados y aireando la mezcla por un periodo entre 12 y 24 horas y conservado en frío a una temperatura de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  (Rudolph et al., 2010).

### **2.2.6. TOXICIDAD AGUDA**

Los efectos tóxicos agudos, son aquellos que se manifiestan en periodos exposición cortos, relativos al ciclo de vida del organismo expuesto, el periodo de prueba puede estar comprendido entre las 96 horas y 14 días, en el que se determina los efectos severos (mortalidad, inmovilización) del 50% de los organismos utilizados en la prueba, este valor se expresa como concentración letal media (CL50) (Barrios Ziolo et al., 2016).

### **2.2.7. TOXICIDAD CRÓNICA**

El efecto tóxico crónico es aquel que se presenta tras largos periodos de exposición, estos pueden presentarse como mortalidad, inmovilización, inhibición de la reproducción, inducción a la latencia del organismo, entre otros, dependiendo del tipo de sustancias utilizadas en la prueba (Barrios Ziolo et al., 2016; Capó Martí, 2007).

### **2.2.8. CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua puede ser definida como una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos, así también, como la composición y el estado de la biota acuática, esta calidad presenta variaciones espaciales y temporales (Sierra, 2011).

### **2.2.9. CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA**

Es la medición de la calidad del agua basado en la utilización de métodos biológicos, donde se establecen indicadores biológicos que pueden ser fitoplancton, macrófitos, organismos fito bentónicos, fauna bentónica de invertebrados y fauna ictiológica, estos son usados para establecer puntos de referencia basados en el conocimiento de datos históricos de los cuerpos de agua (Oscoz et al., 2008).

### **2.2.10. BIOINDICADORES**

Son considerados bioindicadores a los organismos con una limitada capacidad de respuesta ante los cambios ambientales, de modo que su sensibilidad a las perturbaciones ambientales puede ser utilizada para estimar el estado de otras especies o de las condiciones ambientales (González et al., 2014).

### **2.2.11. ZOOPLANCTON**

Son los animales que divagan en la columna de agua y cuya limitada capacidad de movimiento natatorio no les es posible contrarrestar las corrientes acuáticas por lo que su movimiento está determinado principalmente por las corrientes, estos organismos son heterótrofos pudiendo ser herbívoros, carnívoros u omnívoros, estos están compuestos principalmente de protozoarios, rotíferos, copépodos y pequeños crustáceos (Lagos et al., 2014).

### 2.2.12. CLADÓCEROS

Los cladóceros son crustáceos pequeños que habitan principalmente en aguas continentales dulces, y presentan una distribución ubicua (Fuentes-Reines et al., 2012).

### 2.2.13. UTILIZACIÓN DE *Daphnia* sp

Este grupo de especies de agua dulce templada puede ser el grupo más significativo en Estudios ambientales. Esto está indicado por el hecho de que el genoma de *D. pulex* fue secuenciado debido a la importancia del animal en la investigación ambiental. Los esfuerzos de secuenciación mostraron que el genoma contiene muchos genes únicos, que especialmente responden a los cambios ambientales (Nikinmaa, 2014).

### 2.2.14. COPÉPODOS

Los copépodos están conformados por especies marinas y dulceacuícolas existiendo formas parásitas y de vida libre (Varela & Lalana, 2015), en el lago Titicaca se pueden encontrar especies pertenecientes al género *Boeckella* y *Metacyclops* (Dejoux & Iltis, 1991).

### 2.2.15. LAGO TITICACA

La cuenca del lago Titicaca se encuentra en Sudamérica en la zona sur del Perú y el noreste de Bolivia, el lado peruano del lago se encuentra en su totalidad en la región Puno y forma parte del sistema hídrico Titicaca, Desaguadero, Poopó y salar de Coipasa (TDPS), el lago Titicaca se encuentra a 3812 msnm en la superficie y alcanza profundidades de hasta 285 metros, presenta una superficie media total de 8562 km<sup>2</sup> y un volumen de agua de 903 km<sup>3</sup> (Dejoux & Iltis, 1991; MINAM, 2013).



### 2.2.16. ESPECIES ENDÉMICAS Y AMENAZADAS EN EL LAGO TITICACA

En el lago Titicaca existen especies amenazadas tales son (SERFOR, 2018):

*Telmatobius culeus* (Garman, 1876) - CR (Peligro Crítico).

*Rollandia microptera* (Gould, 1868) – EN (En Peligro).

Además, las especies del género *Orestias* y *Trichomycterus* que en él viven son endémicas de la cuenca del Titicaca.

### 2.2.17. CUENCA DEL RÍO COATA

La cuenca del río Coata tiene un área de 4585 km<sup>2</sup> y su colector principal tiene una longitud de 141 km aproximadamente, el punto más alto de la naciente de la cuenca se encuentra en el nevado Huayquera a 5575 msnm y el punto más bajo a 3812 msnm que corresponde a la desembocadura del río (SENAMHI, 2007). El río Coata tiene un caudal medio de 39.33 m<sup>3</sup>/s (ANA, s.f.).

### 2.2.18. DESEMBOCADURA

Conjunto o transición entre un ambiente fluvial y su cuerpo receptor, tiene por característica la existencia de plantas y animales tolerantes a las características de ambos cuerpos de agua (afluente y receptor), en la zona de desembocadura se presenta la acumulación de sedimentos acarreados por el tramo fluvial, y estos pueden ser arena, areniscas y limos (Griem, 2020).

### 2.2.19. SEDIMENTOS FLUVIALES

Los sedimentos son materiales no consolidados que se producen a partir de procesos de erosión del material rocoso epicontinental, algunos sufren procesos de modificación química dando lugar a nuevos minerales y sustancias solubles en agua, estos son transportados por las aguas corrientes hasta lugares donde la energía del medio de transporte disminuye y se precipitan (Suárez et al., 2018).

### 2.2.20. ZONA DE MEZCLA DE AGUAS

Es el volumen de agua en el que ocurre la dilución del agua del efluente con las aguas del cuerpo receptor, donde la dilución es generada por factores como, el impulso de las aguas del efluente, fuerza ascensional causada por la diferencia de densidades y el efecto de la corriente que causa la mezcla lateral (ANA, 2017b).

## 2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los componentes agua y sedimento de la desembocadura del río Coata tienen toxicidad al ser aplicados sobre *Daphnia pulex* en pruebas ecotoxicológicas.

### 2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

El agua de la desembocadura del río Coata presenta toxicidad al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.

### 2.3.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

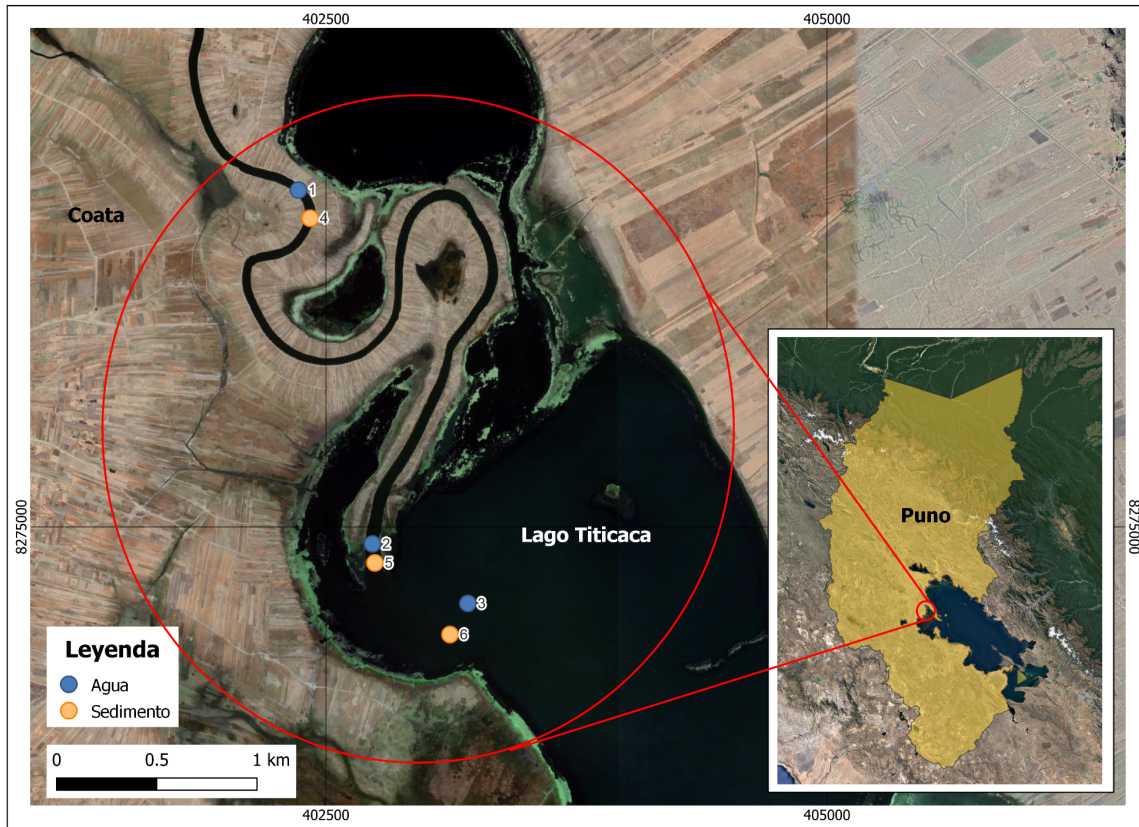
Los sedimentos de la desembocadura del río Coata presentan toxicidad al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El ámbito de estudio fue la lámina de agua y sedimentos comprendidos entre la zona previa a la desembocadura del río Coata y la zona de mezcla del agua del río Coata con el lago Titicaca tal como se ve en la figura 01, en donde los puntos de colores indican los puntos de los que se extrajo muestras. Esta zona está comprendida en el distrito de Coata, Provincia de Puno, Departamento de Puno.



**Figura 01:** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo - UTM WGS84 Zona 19S

### 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

Se colectó muestras de agua y sedimentos de tres zonas, la primera se extrajo del río Coata en un tramo antes de la zona de mezcla de agua (Zona 1), otra zona de donde se hizo colecta de muestra fue la zona de mezcla de aguas entre el río Coata y el lago Titicaca (Zona 2), donde se evidenciaba aún características lólicas y la tercera zona fue en la zona de mezcla con características lélicas (Zona 3).

Se extrajo una muestra de sedimento y otra de agua de cada zona, y cada muestra estuvo compuesta por otras 5 submuestras.

Las muestras de agua y sedimentos tuvieron 5 L de volumen cada una y fueron extraídas de 6 puntos, de los puntos 1, 2 y 3 se extrajeron muestras de agua y de los puntos 4, 5 y 6 se extrajeron muestras de sedimentos, la ubicación de dichos puntos corresponde a las coordenadas indicadas en la tabla 1.

**Tabla 1:** Coordenadas de los puntos de muestreo - UTM WGS84

Punto	Este	Norte	Tipo de muestra
1	402363	8276683	Agua
2	402732	8274915	Agua
3	403208	8274618	Agua
4	402421	8276542	Sedimento
5	402744	8274820	Sedimento
6	403119	8274462	Sedimento

### 3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS

**3.3.1 Determinación de la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.**

#### 3.3.1.1 Muestreo de agua

El muestreo de agua se realizó de acuerdo al Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales (ANA, 2016). Se tomaron muestras compuestas

de tres zonas próximas a la desembocadura del río Coata. Las muestras estuvieron compuestas por tres submuestras homogeneizadas y conservadas en contenedores herméticos, fueron rotuladas y almacenadas para su transporte hacia el laboratorio (Anexo 01: Figuras 11, 12 y 13) teniendo cuidado de no contaminar las muestras. Los lugares de donde se extrajeron las muestras fueron los puntos 1,2,3 que pertenecieron a muestras de agua.

### **3.3.1.2 Ensayo de toxicidad del agua**

Se evaluó la toxicidad letal media a las 48 horas (CL50-48h) de tres muestras de agua, provenientes de tres puntos cercanos a la desembocadura del río Coata, para ello se utilizaron neonatos de no más de 24 horas en todas las unidades de prueba (ver la figura 14 en los anexos), la temperatura no se reguló por tanto se trabajó a temperatura ambiente. Durante el ensayo no se dosificó alimentación para no alterar las características físico químicas del agua producidas por descomposición, tampoco se le proveyó aireación.

La prueba se realizó utilizando una matriz de 3 tratamientos por 5 diluciones más un grupo de control (concentración 0%) con cinco repeticiones, cada unidad de prueba consistió en agua distribuida en recipientes de 4 onzas y 10 individuos.

### **3.3.2 Determinación de la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.**

#### **3.3.2.1 Método de muestreo de sedimentos**

Se extrajo la muestra de sedimentos siguiendo el protocolo de muestreo de sedimentos fluviales del Programa de Monitoreo y Control para la elaboración y revisión de normas de emisión (CENMA, 2012), utilizando también el criterio de muestra compuesta para asegurar

la representatividad en el ensayo. Se utilizaron bolsas para muestras de tierras que fueron rotuladas y conservadas a bajas temperaturas.

Las muestras de sedimento se extrajeron de los puntos 4, 5 y 6. La selección de los puntos de muestreo y submuestreo obedecieron a la búsqueda de representatividad de las muestras. Esta selección de puntos se hizo mediante la revisión de imágenes satelitales online y de acceso gratuito y mediante la evaluación en campo.

### **3.3.2.2 Ensayo de toxicidad de los sedimentos**

El ensayo se realizó teniendo de referencia los protocolos del libro: Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo - La experiencia en México (Ramírez & Mendoza, 2008), el agua para la preparación de diluciones y elutriado de sedimento fue agua filtrada de la zona de Chimu (Puno) (ver la figura 15 de los anexos), el ensayo se desarrolló de este modo con la finalidad de recrear la mezcla de aguas del río Coata con las aguas del lago Titicaca, intentando conocer los efectos de letalidad aplicada sobre fauna local existente.

La prueba se realizó utilizando una matriz de 3 tratamientos por 5 diluciones más un grupo de control (concentración 0%) con cinco repeticiones, cada unidad de prueba consistió elutriado de sedimento distribuido en recipientes de 4 onzas y 10 individuos.

Se evaluó la toxicidad CL50-48h del sedimento de tres puntos cercanos a la desembocadura del río Coata, para ello se utilizaron neonatos de no más de 24 horas en todas las unidades de prueba, la temperatura no se reguló por tanto se trabajó a temperatura ambiente. Durante el ensayo no se dosificó alimentación para no alterar las características físico químicas del agua producidas por descomposición, tampoco se le proveyó aireación (ver la figura 16 de los anexos).



La prueba se realizó mediante la preparación de elutriado de sedimento en concentraciones distintas, el elutriado se obtuvo al mezclar por burbujeo durante 24 horas los sedimentos con una matriz de agua en una proporción de 1:1.

### **3.3.3 Procedimientos de las pruebas de ensayo**

#### **3.3.3.1 Obtención de los organismos de prueba**

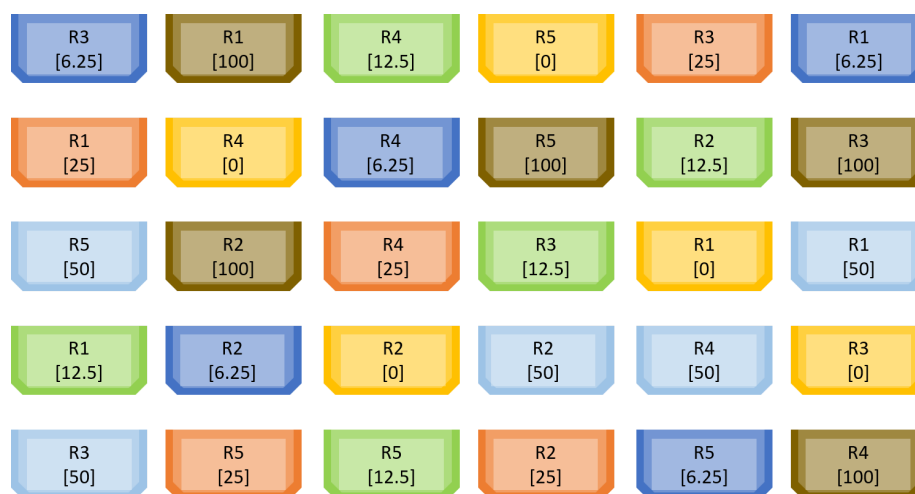
La colecta de individuos de *Daphnia* se realizó mediante una red de zooplancton de 200  $\mu\text{m}$ ; el lugar de colecta fue el sector Chimú (Puno), lugar donde abunda esta especie.

Los individuos colectados fueron estabilizados en laboratorio por un periodo de dos semanas en el que se les proveyó espinaca licuada como alimento, en este tiempo se obtuvo neonatos de *Daphnia pulex* y fueron separados de manera pasiva con un tamiz de 0.5mm de apertura, facilitando de este modo la selección de los individuos que se utilizaron en los ensayos.

#### **3.3.3.2 Distribución de subunidades de prueba**

Se distribuyeron las cinco repeticiones de cada concentración de prueba de manera aleatoria sobre una mesa, este tipo de distribución permite eliminar o reducir los efectos de borde en la prueba de modo que la supervivencia o mortalidad de los organismos de prueba deberían ser similares de manera independiente a su ubicación en el tablero, en la figura 02 se ilustra esta distribución, en la que cada color de recipiente representa un valor de concentración distinto y cuenta con cinco repeticiones, además de existir una concentración de 0% (amarillo) que corresponde al grupo de control de la prueba, así por ejemplo en la figura el color azul tiene cinco repeticiones (R1 - R5) y representa a la concentración de 6.25%, el color verde representa una concentración de 12.5%, el color rojo representa una

concentración de 25%, el color celeste representa una concentración de 50% y el color marrón representa la concentración de 100%.



**Figura 02:** Distribución de subunidades de muestra para el ensayo.

### 3.3.3.3 Condiciones para las pruebas de toxicidad aguda

- Tipo de prueba: Estática, sin renovación de la solución de prueba.
- Duración: 48 horas (prueba definitiva).
- Fotoperíodo: 12 horas luz, 12 horas oscuridad.
- Temperatura:  $17 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Aireación: No
- Suministro de alimento: No
- Volumen de los recipientes de prueba: 4 oz.
- Estadío de los organismos: Neonatos de menos de 24 horas.
- Concentraciones o diluciones ensayadas: 6 (incluye al testigo [0]%)
- Réplicas por concentración: 5
- Organismos por subunidad de prueba: 10
- Agua de dilución: Agua del lugar de extracción de los especímenes

- Efecto medido: Mortalidad a 48 horas.

Criterio de aceptación de la prueba: Inmovilidad o mortalidad en los testigos menor o máximo del 10 % a 48 horas.

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables sobre las que se tuvo control fueron la concentración o dilución del agua del río Coata y la concentración de elutriado de sedimentos del río Coata y la variable de respuesta fue la toxicidad que tuvo sobre *Daphnia pulex*, de modo que las variables estudiadas fueron:

- Variables independientes :
  - Concentración del agua.
  - Concentración del elutriado de sedimento.
- Variable dependiente :

Toxicidad sobre *Daphnia pulex*

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El tipo de investigación fue de diseño cuasi experimental, porque se manipuló las variables: concentración del agua y concentración del elutriado de sedimento, sin embargo no se controlaron las variables del entorno como temperatura, oxígeno disuelto, pH, alimentación u otros.

Los resultados obtenidos producto de los ensayos, fueron procesados mediante la regresión tipo PROBIT, que es la más utilizada en estudios de toxicología y ecotoxicología, dicho

análisis se realizó haciendo uso del programa SPSS V.26.0.0, la validación de la prueba se realizó mediante la prueba de chi cuadrado de Pearson.

#### **Fórmula de análisis de regresión Probit**

$$Y = A + B (\text{Log } X)$$

Donde:

Y= Porcentaje de Mortalidad (en unidades probit).

X= Dosis.

A = Mortalidad cuando log dosis=0.

B= Pendiente de la recta.

#### **Fórmula de Chi cuadrado de Pearson**

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

### **3.6. MATERIALES**

Los materiales usados para el muestreo de *Daphnia pulex*, agua y sedimentos fueron:

- Red de zooplancton.
- Bote.
- Caja de PET de 50L.
- Balde plástico de 4L.
- Balde plástico de 8L.
- Frasco hermético de 50 ml.
- Guantes de nitrilo.

- Guantes de jebe.
- Pala pequeña.
- Pala de mango largo.
- Tablero y fichas de muestreo.
- Bolsas herméticas.
- Cámara fotográfica.

Los materiales empleados para el acondicionamiento en laboratorio y ensayos fueron:

- Contenedor plástico de 10 L.
- Aireadores.
- Estereomicroscopio.
- Manguera de silicona.
- Difusor de aire.
- Vaso de precipitados.
- Daphnia pulex
- Pipetas pasteur.
- Filtro de acero inoxidable de 0.5mm de apertura
- Vasos de plástico de 4 oz.
- Fichas de registro.
- Cámara fotográfica.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. Objetivo específico N° 1: Determinación de la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.

De las tres muestras compuestas de agua, se pudo observar mediante el ensayo de toxicidad que en ninguno de los casos se produjo la mortandad de la mitad de la población a las 48 horas, sin embargo existió un nivel de respuesta, por lo que hay que considerar también los efectos subletales de la exposición al contaminante, puesto que, la supervivencia de los sujetos de prueba no implica la inocuidad del medio de prueba (Espina y Vanegas, 2005), de modo que podrían manifestarse efectos crónicos no observables a simple vista como la reducción del crecimiento, por pérdida de fecundidad entre otros (Rudolph et al., 2010). Hay que considerar también que algunos metales pesados manifiestan sus efectos tóxicos al estar en presencia de otros compuestos de origen orgánico (Peluso, 2011).

La mortandad más alta se encontró en la muestra del punto 1 a una concentración de 100% del volumen de agua del río Coata con 12 muertes que representan el 24% de los sujetos de prueba, en los puntos 2 y 3 la mortandad máxima fue de 18 individuos en ambos casos

que representan el 18% de los individuos de prueba. El suceso de estas muertes podría estar asociado a contaminación por metales pesados ya que en un estudio reciente, Quispe (2017) encontró que las aguas superficiales cercanas a la zona baja del río Coata tuvieron presencia de aluminio, cromo y hierro en las zonas de ribera del río, sumado a esto la presencia de vertimientos de aguas residuales de distintas ciudades, principalmente de la provincia de San Román (ANA, 2017a).

Como se aprecia en la tabla 02, existió una clara relación entre la concentración del agua del río Coata con el número de sucesos de mortandad, se puede ver también que en los tres casos la tendencia fue la misma y los porcentajes de mortalidad fueron similares como se observa en las figuras 2, 3, 4 y 5.

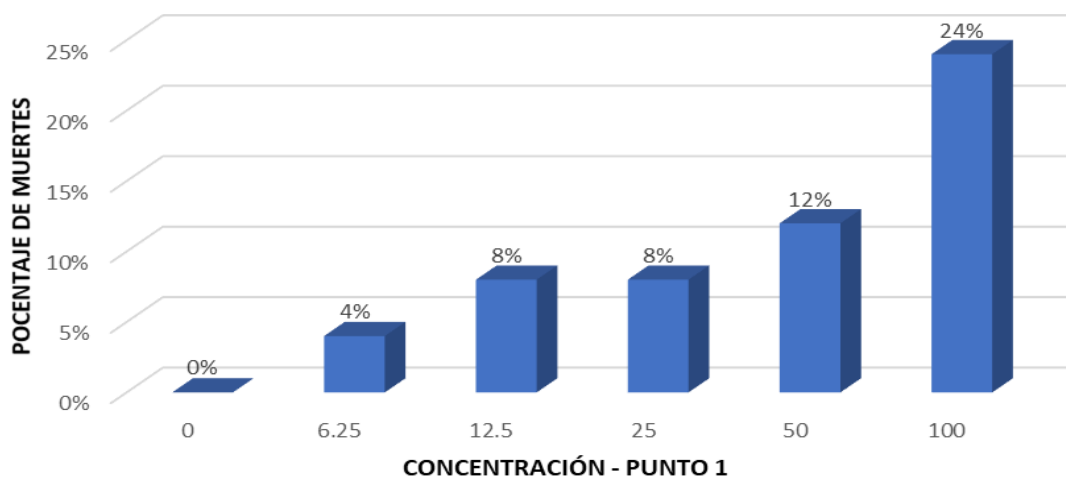
**Tabla 02:** Mortandad registrada a las 48 horas para los puntos 1, 2 y 3.

Tratamiento	Punto 1					Punto 2					Punto 3						
	0	6.25	12.5	25	50	0	6.25	12.5	25	50	0	6.25	12.5	25	50		
Concentración (%)	100					100					100						
Individuos	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
Muertes 48h	12					50					50						
Muertes a 48h (%)	0	2	4	4	6	0	1	4	5	7	9	1	2	2	4	7	9
	24					18					18						

Muertes 48h: Muertes producidas a las 48 horas del ensayo. Muertes a 48h (%): Porcentaje de individuos muertos a las 48 horas del ensayo.

En la prueba del punto 3, se pudo observar la muerte de un individuo en el grupo de control, sin embargo, esto no invalida la prueba ya que uno de los criterios de validación de la prueba es que en el grupo de control los eventos de mortandad deben ser menor o igual al 10% de individuos, en este caso la mortandad en el grupo de control fue del 2%, por lo tanto la prueba es válida. Así también se puede concluir que la aplicación de *D. pulex* para la determinación de la toxicidad del agua es viable debido a que presentó una respuesta clara en esta serie de ensayos, encontrándose que esta especie es sensible a sustancias tóxicas lo que concuerda con lo indicado por Silva et al. (2003), haciendo que estos organismos sean idóneos para tales estudios.

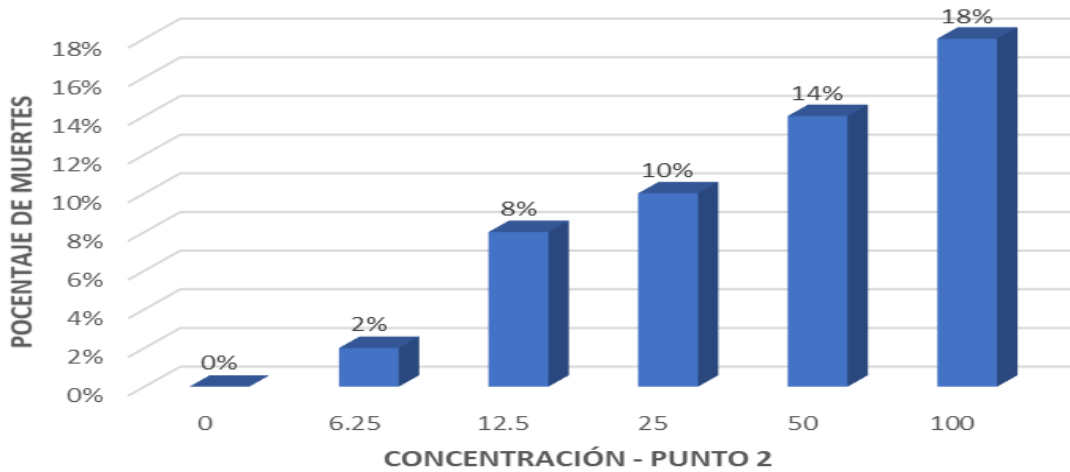
A continuación se muestran los resultados gráficos del estudio en la mortalidad de *D. pulex*



**Figura 03:** Porcentaje de mortandad del punto 1.

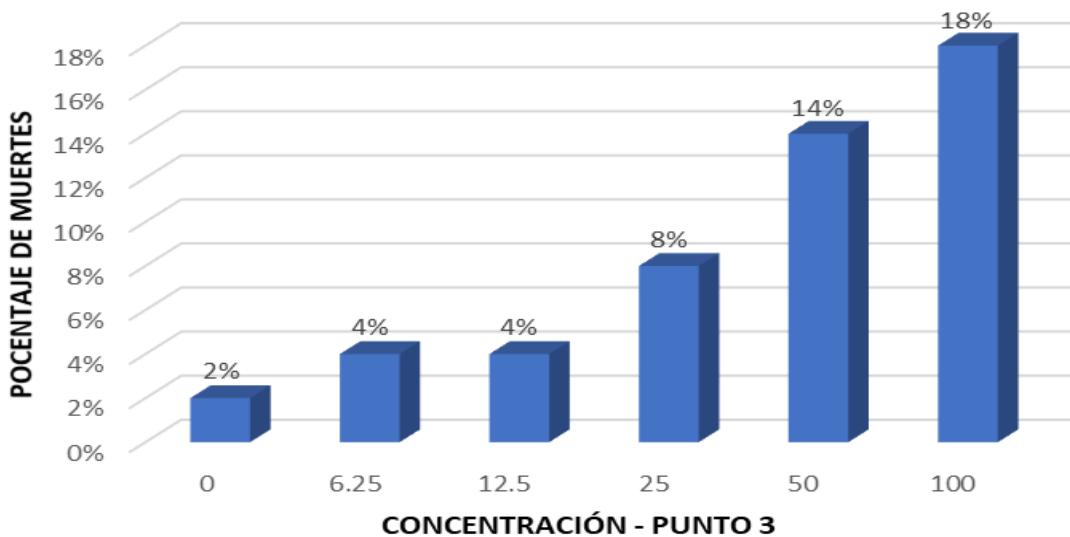
En la figura 03 se aprecia que el porcentaje de eventos de mortandad incrementó en la medida que la concentración de agua de sedimento era mayor, llegando al 24% de mortandad a las 48 horas en la concentración del 100%.





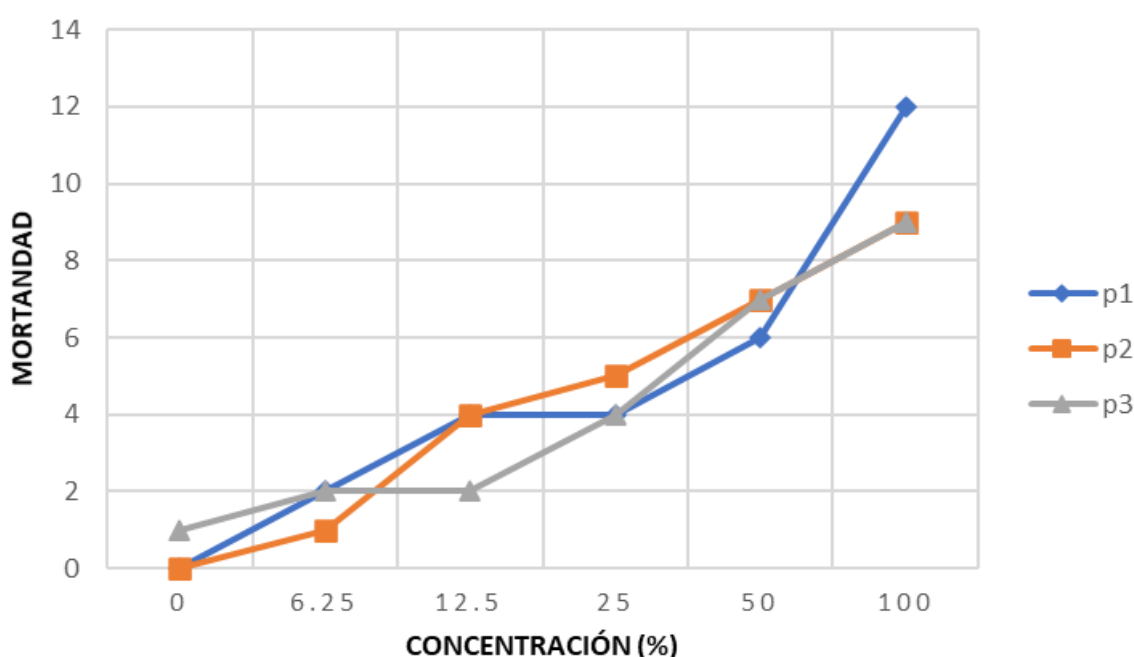
**Figura 04:** Porcentaje de mortandad del punto 2.

En la figura 04, también se aprecia que el porcentaje de eventos de mortandad incrementó en la medida que la concentración de agua de sedimento era mayor, llegando al 18% de mortandad a las 48 horas en la concentración del 100%.



**Figura 05:** Porcentaje de mortandad del punto 3.

En la figura 05 se aprecia que el porcentaje de eventos de mortandad incrementó en la medida que la concentración de agua de sedimento era mayor, llegando al 24% de mortandad a las 48 horas en la concentración del 100%, no llegando a ocurrir la muerte de la mitad de la población en el periodo de estudio, lo que no indica que no exista toxicidad debido a que existe la posibilidad de que los efectos de mortandad sucedan en un tiempo mayor a las 48 horas o también podrían producirse efectos subletales como el decaimiento de la tasa reproductiva, enfermedades, estrés, o disminución de la actividad.



**Figura 06:** Comparativa de eventos de mortandad entre los puntos 1, 2 y 3.

En la figura 06 se puede apreciar la clara similitud en la tendencia de la respuesta de mortandad al incrementar las concentraciones de agua del río Coata, existiendo mayor mortandad en el punto 1, esto podría deberse a que en esta zona no sucede la mezcla de agua, siendo esta íntegramente el agua del río Coata.

Se utilizaron los valores registrados de mortalidad de *D. pulex* en los ensayos para calcular los coeficientes de la regresión Probit y por tanto de las concentraciones de agua necesarias para que suceda la muerte de la mitad de la población, estos datos fueron procesados en el programa SPSS de donde se obtuvo que los coeficientes obtenidos para los puntos 1, 2 y 3 fueron muy similares, esto debido a la similitud de los resultados del ensayo para estos puntos, también se obtuvo que el p-valor de los tres puntos resultó ser menor a 0.05 (tabla 04), por lo tanto estos valores son altamente significativos y válidos.

**Tabla 03:** Estimación de coeficientes para la regresión Probit – Puntos 1, 2 y 3.

Parámetro		Estimación	Desv. Error	p-valor
Concentración		0.010	0.002	0.000
	Punto 1	-1.736	0.129	0.000
Intersección	Punto 2	-1.774	0.130	0.000
	Punto 3	-1.797	0.131	0.000

Se realizó además la validación estadística del modelo de regresión Probit mediante la prueba de Chi cuadrado, de donde se pudo verificar que el p-valor fue mayor a 0.05 (tabla 05), por lo tanto se verifica que la prueba es válida y se ajusta al modelo.

**Tabla 04:** Prueba de Chi cuadrado

	Chi cuadrado	GL	p-valor
Prueba de bondad de ajuste de Pearson	11.136	14	0.675

Finalmente, una vez validado el modelo, se procedió a verificar las concentraciones necesarias para que suceda la muerte de la mitad de la población a las 48 horas, esto de los resultados estimados por el programa SPSS, donde se obtuvo que se tendrían que incrementar las concentraciones de agua en las pruebas para cada punto al porcentaje indicado a continuación:

- Para el Punto 1 se requiere al menos una concentración del 171.3% de agua contaminada, entonces la CL50-48h = 171.3%.
- Para el Punto 2 se requiere al menos una concentración de 175% de agua contaminada, entonces la CL50-48h = 175%.
- Para el Punto 3 se requiere al menos una concentración de 177.3% de agua contaminada, entonces la CL50-48h = 177.3%.

Entonces verificando que el modelo ha sido validado y se ha encontrado valores de concentración letal media para los tres puntos, se rechaza la hipótesis nula, que indica que:

H0: El agua de la desembocadura del río Coata no presenta toxicidad al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.

y se acepta la hipótesis alterna que indica que:

H1: El agua de la desembocadura del río Coata presenta toxicidad al ser aplicada sobre *Daphnia pulex*.

**4.1.2. Objetivo específico N° 2: Determinación de la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.**

De las tres muestras compuestas de sedimento (puntos 4,5 y 6) se pudo observar mediante el ensayo de toxicidad que se produjo la mortandad de la mitad de la población a las 48 horas en los grupos de prueba 4 y 6 con un 58% y 72% respectivamente, mientras que el grupo 5 presentó un 48% de mortandad.

La mortandad más alta se encontró en la muestra del punto 6 a una concentración de 100% del volumen de elutriado de sedimentos del río Coata con 24 muertes, el menor porcentaje de mortandad en una concentración del 100% lo tuvo el grupo 5 con un 48% de muertes.

La toxicidad de estos sedimentos podría deberse a la presencia de importantes problemas ambientales que suceden en la cabecera de cuenca relacionados a la minería informal (MINAM, 2013), existiendo presencia de metales pesados como arsénico, cadmio, cromo o plomo debido a que existe reportes de su presencia en los sedimentos de este río (Capacoila, 2017) y también la existencia de otras fuentes contaminantes (ANA, 2017a), como lixiviados, residuos sólidos, etc. Otro factor a considerar es que las muestras de agua y sedimentos en el presente estudio se extrajeron en época de estiaje, que suele ser idónea para la reproducción de organismos acuáticos (Pascual et al., 2019) debido a la baja carga de contaminantes por el bajo caudal de la época, considerando que existe la posibilidad de que no exista diferencia significativa entre la toxicidad entre épocas de estiaje y avenidas (Carreño et al., 2018) por ejemplo debido a la menor cantidad de agua para dilución de los contaminantes.

**Tabla 05:** Mortandad registrada a las 48 horas para los puntos 4, 5 y 6.

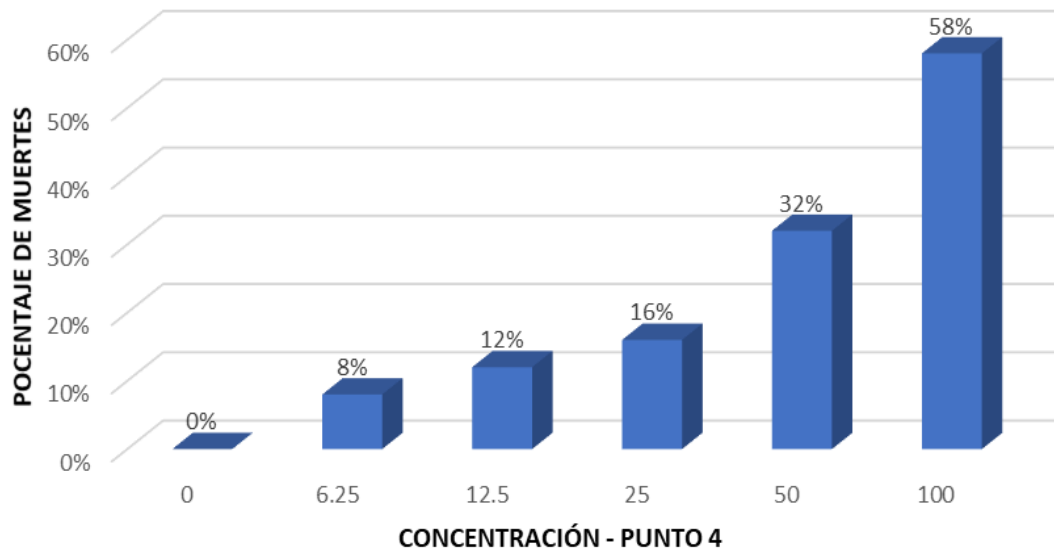
Tratamiento	Punto 4					Punto 5					Punto 6					
Concentración (%)	0	6.25	12.5	25	50	0	6.25	12.5	25	50	0	6.25	12.5	25	50	
	100					100					100					
Individuos	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	50					50					50					
Muertes 48h	0	4	6	8	16	0	2	7	12	21	36	0	1	3	6	14
	29					36					24					
Muertes a 48h (%)	0	8	12	16	32	0	4	14	24	42	72	0	2	6	12	28
	58					72					72					

Muertes 48h: Muertes producidas a las 48 horas del ensayo. Muertes a 48h (%): Porcentaje de individuos muertos a las 48 horas del ensayo.

De similar modo a los grupos de muestras de agua, en los grupos de muestras de sedimentos también se puede observar en las figuras 6, 7, 8, y 9 que existió una clara relación entre la concentración del elutriado de sedimentos del río Coata con el número de sucesos de mortandad, así también se puede observar que la tendencia fue la misma en los tres grupos de prueba y los porcentajes de mortandad fueron aunque variables, bastante similares .

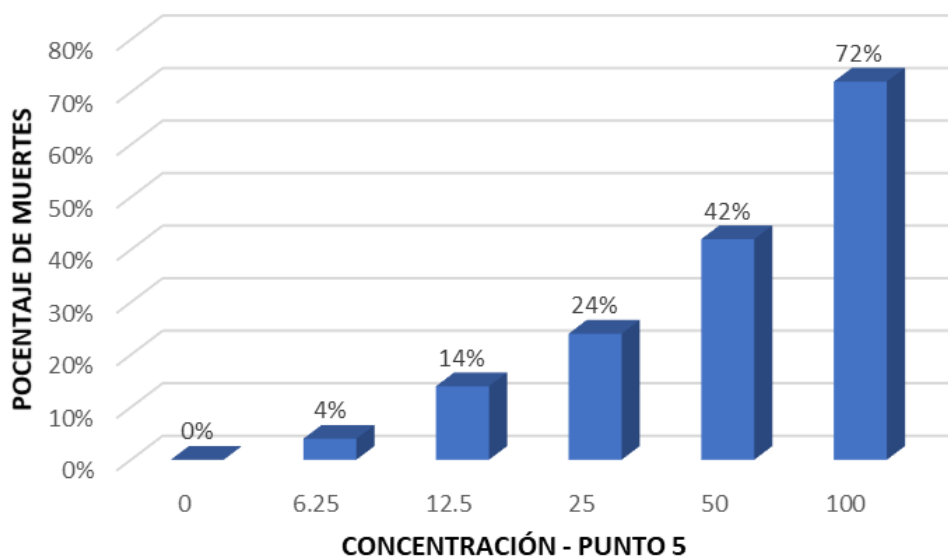
La mortandad en los grupos de control fue de 0% por tanto la prueba se considera válida bajo el criterio de mortandad máxima aceptada para el ensayo en el grupo de control.

Para la validación de estos resultados se consideró también el buen manejo de las muestras (Mendoza et al., 2013), dentro y fuera del laboratorio (Velandia & Montañez, 2010), evitando así resultados errados.



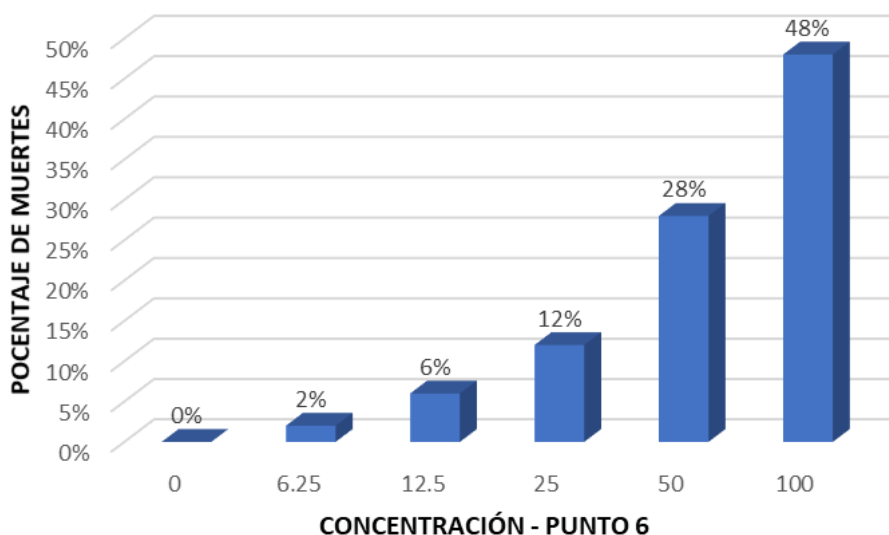
**Figura 07:** Porcentaje de mortandad del punto 4.

En la figura 07 se aprecia que el porcentaje de eventos de mortandad de la mitad de la población a las 48 horas, se alcanzó en la concentración del 100% de elutriado de sedimentos (58%) y que a una concentración del 50% ocurrió la muerte de la tercera parte de los individuos del ensayo.



**Figura 08:** Porcentaje de mortandad del punto 5.

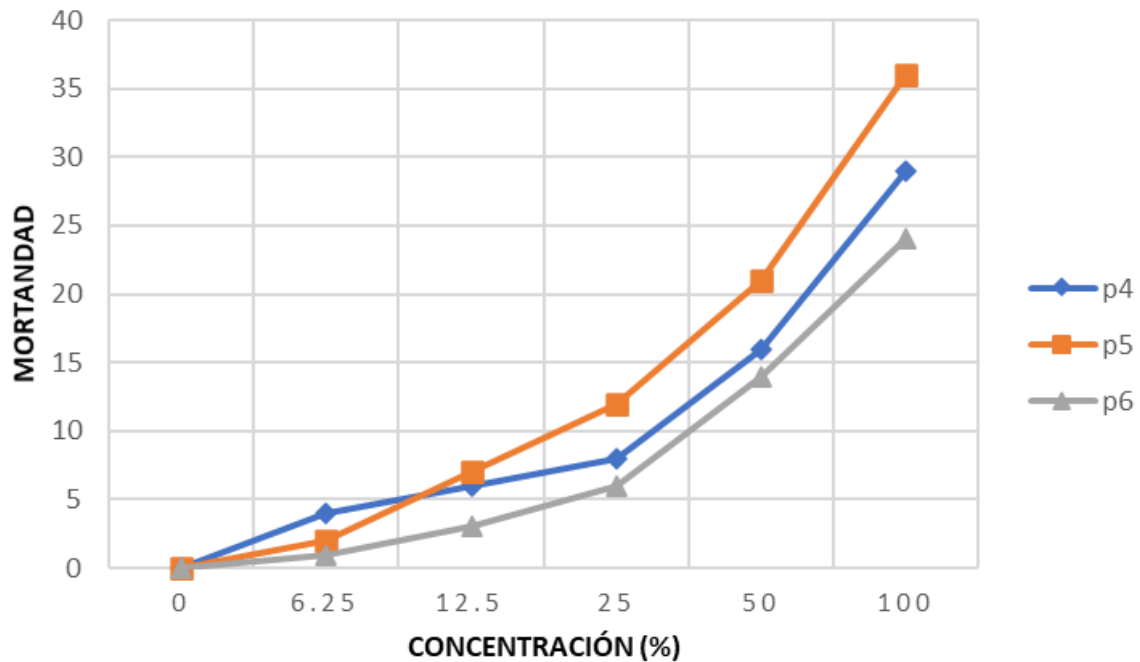
En la figura 08, se aprecia que también existió una clara tendencia en el incremento de la mortalidad a mayores concentraciones de elutriado de sedimentos, ocurriendo la muerte de más de la mitad de la población (72%) a la concentración del 100% de elutriado de sedimentos.



**Figura 09:** Porcentaje de mortandad del punto 6.



En la figura 09 se aprecia que el porcentaje de eventos de mortandad de casi la mitad de la población a las 48 horas, se alcanzó en la concentración del 100% de elutriado de sedimentos (48%) y que a una concentración del 50% ocurrió un alto porcentaje de muertes (28%) siendo casi la tercera parte de los individuos de prueba.



**Figura 10:** Comparativa de eventos de mortandad entre los puntos 4, 5 y 6.

En la figura 10 se puede observar que en las tres pruebas existió la misma tendencia de incremento de la mortalidad a mayor concentración de elutriado de sedimento, y el porcentaje más elevado de mortalidad se presentó en el punto 5, que corresponde a aguas con características de premezcla de aguas, pudiendo tener agua tanto del río coata como del lago Titicaca, dependiendo de la ocurrencia previa de eventos de lluvias en las proximidades de la desembocadura.

Se utilizaron los valores registrados de mortalidad de *D. pulex* en los ensayos para calcular los coeficientes de la regresión Probit y por tanto de las concentraciones de elutriado de sedimento necesarias para que suceda la muerte de la mitad de la población, estos datos fueron procesados en el programa SPSS de donde se obtuvo que los coeficientes obtenidos para los puntos 4, 5 y 6 fueron muy similares, esto debido a la similitud de los resultados del ensayo para estos puntos, también se obtuvo que el p-valor de los tres puntos resultó ser menor a 0.05 (tabla 06), por lo tanto estos valores son altamente significativos y válidos.

**Tabla 06:** Estimación de coeficientes para la regresión Probit – Puntos 4, 5 y 6.

Parámetro		Estimación	Desv. Error	p-valor
Concentración		0.020	0.001	0.000
	Punto 4	-1.622	0.112	0.000
	Punto 5	-1.423	0.106	0.000
Intersección	Punto 5	-1.423	0.106	0.000
	Punto 6	-1.875	0.123	0.000

Se realizó además la validación estadística del modelo de regresión Probit mediante la prueba de Chi cuadrado, de donde se pudo verificar que el p-valor fue mayor a 0.05 (tabla 07), por lo tanto se verifica que la prueba es válida y se ajusta al modelo.

**Tabla 07:** Prueba de chi cuadrado

	Chi cuadrado	GL	p-valor
Prueba de bondad de ajuste de Pearson	21.333	14	0.093

Finalmente, una vez validado el modelo, se procedió a verificar las concentraciones necesarias para que suceda la muerte de la mitad de la población a las 48 horas, esto de los resultados estimados por el programa SPSS, donde se obtuvo que las concentraciones de elutriado de sedimento requieren concentraciones menores al 100% para tener efectos letales sobre la mitad de la población:

- Para el Punto 4 se requiere al menos una concentración del 80.4% de elutriado de sedimento, entonces la CL50-48h = 80.4%.
- Para el Punto 5 se requiere al menos una concentración del 70.5% de elutriado de sedimento, entonces la CL50-48h = 70.5%.
- Para el Punto 6 se requiere al menos una concentración del 92.9% de elutriado de sedimento, entonces la CL50-48h = 92.9%.

Entonces verificando que el modelo ha sido validado y se ha encontrado valores de concentración letal media para los tres puntos, se rechaza la hipótesis nula, que indica que:

H0: Los sedimentos de la desembocadura del río Coata no presentan toxicidad al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.

y se acepta la hipótesis alterna que indica que:

H1: Los sedimentos de la desembocadura del río Coata presentan toxicidad al ser aplicados sobre *Daphnia pulex*.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que tanto los componentes agua y sedimentos de la desembocadura del río Coata presentan toxicidad al ser aplicados sobre neonatos de *Daphnia pulex*, además a través de las pruebas de concentración letal media y elutriado de sedimentos realizadas, se pudo determinar que esta especie es adecuada para realizar estudios de toxicidad por su alta sensibilidad a contaminantes.
- Se determinó que el agua del río Coata presentó toxicidad sobre *D. pulex*, encontrando la concentración letal media a las 48 horas (CL50-48 h) de los puntos 1, 2 y 3 en las concentraciones de 171.3%, 175% y 177.3% respectivamente. No se observó la mortandad de la mitad de la población a las 48 horas de exposición en las concentraciones utilizadas, por lo que el agua de muestra del río Coata sin diluir no ocasiona la letalidad de la mitad de la población de *D. pulex* a las 48 horas.
- Se determinó que los sedimentos del río Coata presentaron toxicidad sobre *D. pulex*, encontrando la concentración letal media a las 48 horas (CL50-48 h) de los puntos 4, 5 y 6 en las concentraciones de 80.4%, 70.5% y 92.9% respectivamente. Se pudo observar la mortandad de la mitad de la población a una concentración del 100% de elutriado de sedimento a las 48 horas de exposición, por lo que el elutriado producto

de la mezcla de sedimentos y agua en una proporción de 1:1 producen la muerte de la mitad de la población de *D. pulex* a las 48 horas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las autoridades competentes de la región de Puno, instancias del gobierno e instituciones afines, tales como las municipalidades distritales locales, municipalidades provinciales, Gobierno regional Puno, Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), que para realizar el movimiento de sedimentos en actividades como descolmatación y dragado del cauce de este río, considerar los impactos de toxicidad que podría ocasionar el movimiento de los sedimentos del río Coata puesto que en el presente estudio se probó su toxicidad.
- Se recomienda a las instituciones competentes en el monitoreo de calidad del agua y recursos hidrobiológicos e investigadores como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto del Mar del Perú (IMARPE), y universidades, realizar estudios de toxicidad que abarque época de avenidas y estiaje en el río Coata y utilizar otros organismos de prueba para observar la variabilidad de la toxicidad considerando estas otras variables, tales como temporada, especie de organismo de prueba, tramo del río o estratificación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Martínez, G., Rudolph, A., Ahumada, R., Loyola, R., & Medina, V. (2009). Toxicidad no específica en sedimentos portuarios, una aproximación al contenido de contaminantes críticos: An approach to the content of critical pollutants. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(3), 725-735.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-19572009000300018>
- ANA. (s. f.). *Administración Local del Agua Juliaca*. Drupal. Recuperado 13 de octubre de 2021, de <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/aaa-titicaca/ala-juliaca>
- ANA. (2012, octubre 19). *Resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial de la cuenca Coata*.  
<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/166.pdf>
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N 010-2016-ANA)*.
- ANA (Ed.). (2017a). *Fuentes contaminantes del Lago Titicaca, Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso Lago Titicaca*.
- ANA (Ed.). (2017b). *Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua* (Primera edición). <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/900>
- Barrios Ziolo, L. F., Gaviria Restrepo, L. F., Agudelo, E. A., & Cardona Gallo, S. A. (2016). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de Aburrá. *Revista EIA*, 26, 61-74.
- Cairns, J. (1982). Restoration of damaged ecosystems. En W. T. Mason & W. V. Leetown (Eds.), *Research on Fish and Wildlife Habitat* (pp. 220-239). U.S. Environmental Protection Agency.

- Capacoila Coila, J. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Capó Martí, M. A. (2007). *Principios de ecotoxicología: Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. Tebar.
- Carreño, C., Zarazúa, G., Fall, C., Ávila-Pérez, P., & Tejeda, S. (2018). Evaluación de la toxicidad de los sedimentos del curso alto del río Lerma, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 117-126.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.10>
- CENMA (2012). *Programa de monitoreo y control para la elaboración y revisión de normas de emisión* (p. 106). Centro Nacional de Medio Ambiente. <http://www.cenma.cl/>
- Dejoux, C., & Iltis, A. (Eds.). (1991). *El lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual*. HISBOL.
- Díaz Báez, M. C., Pica Granados, Y., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna*. En SEMARNAT (Ed.), *Yolanda* (pp. 17-32). Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.  
<http://site.ebrary.com/id/10120537>
- Espina, S., & Vanegas, C. (2005). Ecotoxicología y Contaminación. En *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2.ª ed., pp. 79-120).  
<http://etzna.uacam.mx/epomex/publicaciones/contaminacion2/Contaminaci%C3%B3nParte2.pdf>
- Fuentes-Reines, J. M., de Roa, E. Z., Morón, E., & Gámez, D. (2012). *Conocimiento de la fauna de Cladocera (crustacea: branchiopoda) de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia*. 41, 44.
- George, C. M., Sima, L., Arias, M. H. J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., Checkley, W., & Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: An unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565-572.



<https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>

Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenlan, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: Una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3). <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2014.313.94>

González Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez Jiménez, J. C., & Low Pfeng, A. M. (Eds.). (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (1.ª ed.).

Griem, W. (2020). *Apuntes Geología General: El ambiente fluvial*. Apuntes de Geología General. <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05a-2.htm>

Jackson, R. B., Carpenter, S. R., Dahm, C. N., Mcknight, D. M., Naiman, R. J., Postel, S. L., & Running, S. W. (2001). Water in a changed world. *Ecological Applications*, 11(4), 19

Martí, M. A. C. (2003). *La ecotoxicología, una ciencia de hoy*. 18(3), 101-104.

Mendoza Cantú, A., Romero Ramírez, P., Granados Pica, Y., Zarco Cuesta, I. J., & Coria Salazar, L. (2013). *Intercalibración de las pruebas con Daphnia magna y Pseudokirchneriella subcapitata en México: Herramientas potenciales para el monitoreo ambiental*. 23(1), 14.

Miguez, D., Seoane, I., Carrara, M. V., Carnikián, A., Keel, K., Aizpún, A., Bouvier, M. E., & Cartmell, E. (2010). Evaluación ecotoxicológica de sedimentos en una zona del Río Uruguay, con puntos finales indicadores de toxicidad aguda, sub-letal, crónica, reproductiva y teratogénica. *INNOTEC*, 5. <https://doi.org/10.26461/05.01>

MINAM. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca* (p. 85). <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>

MINSA. (2005, marzo 22). *La contaminación del agua es causada por el uso minero e industrial de este recurso*.

<https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/43041-contaminacion-del-agua-es-causada-por-uso-minero-e-industrial-de-este-recurso>

Miyashiro, V., Méndez, L., & Orihuela, L. (2014). El agua dulce , un recurso escaso. En

*Gestión del agua en el Perú: uso, protección y tratamiento* (pp. 17-23).

<https://catalogo.oefa.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=324>

Nikinmaa, M. (2014). *An introduction to aquatic toxicology*. Boston : Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier.

Oscoz, J., Duran, C., Pardos, M., Gil, J., & Viamonte, A. (2008). *Evolución histórica de la calidad biológica del agua en la cuenca del Ebro (España) (1990-2005)*. 27(1), 119-130.

Pascual, G., Iannacone, J., & Alvaríño, L. (2019). Macroinvertebrados bentónicos y ensayos toxicológicos para evaluar la calidad del agua y del sedimento del río Rímac, Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(4), 1421-1442.

<https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17164>

Peluso, M. L. (2011). *Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes* [Doctor en Ciencias Exactas, área Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de La Plata].

<https://doi.org/10.35537/10915/18420>

Planes, E., & Fuchs, J. (2015). *Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales*. 65(2), 46-62.

Quispe Yana, R. F. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata, 2017*. Universidad Nacional del Altiplano.

Ramírez Romero, P., & Mendoza Cantú, A. (Eds.). (2008). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo La experiencia en México* (1.<sup>a</sup> ed.).

- Rudolph, A., Medina, P., Novoa, V., Ahumada, R., & Cortés, I. (2010). *Calidad ecotoxicológica de sedimentos en sectores del mar interior de Chiloé, campaña Cimar 12 fiordos*. 33, 14.
- SENAMHI. (2007). *Informe Técnico: Evaluación Hidrológica cuenca del Lago Titicaca 2006-7* (p. 17). <http://senamhi.gob.pe/pdf/estudios/evalHidroLagoTitiCaca.pdf>
- SERFOR. (2016, octubre 14). SERFOR informa la muerte de más de 10 mil ranas en río Coata, en Puno. *SERFOR*.  
<https://www.serfor.gob.pe/portal/noticias/fauna-silvestre/serfor-evalua-muerte-de-mas-de-10-mil-ranas-en-rio-coata-en-puno>
- SERFOR. (2018). *Libro rojo de la fauna silvestre amenazada del Perú* (1.<sup>a</sup> ed.).
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1a ed). Ediciones de la U.
- Silva, J., Torrejón, G., Bay-Schmith, E., & Larrain, A. (2003). *Calibración del bioensayo de toxicidad aguda con Daphnia Pulex (crustacea: cladocera) usando un tóxico de referencia*. 10.
- Suárez, P. A., Orfeo, O., & Vega, M. (2018). *Introducción al estudio de sedimentos fluviales de llanura*. <https://doi.org/10.30972/eitt.402892>
- USGS. (2016). *Compuestos Seleccionados de Sedimentos del Lecho y Resultados de Toxicidad en el Agua en los Arroyos Westside, San Antonio, Texas, 2014*.  
[https://pubs.usgs.gov/fs/2016/3096/fs20163096\\_SpanishVersion.pdf](https://pubs.usgs.gov/fs/2016/3096/fs20163096_SpanishVersion.pdf)
- Varela, C., & Lalana, R. (2015). Copépodos (Crustacea: Maxillopoda; Copepoda) parásitos del archipiélago cubano. *Solenodon*, 12, 9-20.
- Velandia Guaque, L. M., & Montañez Cardozo, Y. S. (2010). *Determinación de la concentración letal media (CI50-48) del plomo y cromo hexavalente mediante bioensayos de toxicidad acuática utilizando Daphnia Pulex* [Universidad de La Salle].  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/38](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/38)

**ANEXOS**

**Anexo 01: Fotografías del proceso de investigación.****Figura 11:** Toma de muestras de agua del punto 6.





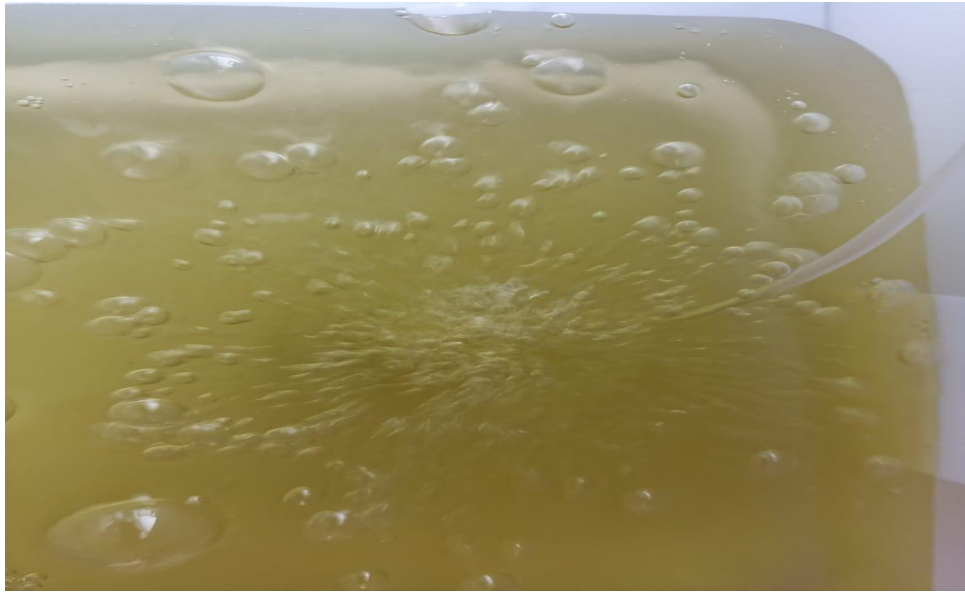
Figura 12: Ubicación del punto 1 en el río Coata.



Figura 13: Toma de muestras del punto 1



**Figura 14:** Introducción de *Daphnia pulex* en medios de prueba



**Figura 15:** Medio de estabilización de especímenes



**Figura 16:** Control de la temperatura, pH y oxígeno en unidades de prueba



Anexo 02: Matriz de consistencia.

Tabla 08

Matriz de consistencia: Toxicidad del agua y sedimentos de la desembocadura del río Coata aplicados sobre *Daphnia pulex*, Coata – Puno.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p><b>Problema general</b> ¿Existirá toxicidad en el agua y sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar la toxicidad de los componentes agua y sedimento de la desembocadura río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i> mediante pruebas ecotoxicológicas.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Los componentes agua y sedimento de la desembocadura del río Coata tienen algún grado de toxicidad al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i> en pruebas ecotoxicológicas.</p>	<p><b>VARIABLES independientes</b>  Concentración del agua. Concentración del elutriado de sedimento.</p>
<p><b>Problema específico 1</b> ¿Existirá algún grado de toxicidad en el agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>?</p>	<p><b>Objetivo específico 1</b> Determinar la toxicidad del agua de la desembocadura del río Coata al ser aplicada sobre <i>Daphnia pulex</i>.</p>	<p><b>Hipótesis específica 1</b> El agua de la desembocadura del río Coata tienen algún grado de toxicidad al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>.</p>	<p><b>VARIABLES dependientes</b>  Toxicidad sobre <i>Daphnia Pulex</i></p>
<p><b>Problema específico 2</b> ¿Existirá algún grado de toxicidad los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>?</p>	<p><b>Objetivo específico 2</b> Determinar la toxicidad de los sedimentos de la desembocadura del río Coata al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>.</p>	<p><b>Hipótesis específica 2</b> Los sedimentos de la desembocadura del río Coata tienen algún grado de toxicidad al ser aplicados sobre <i>Daphnia pulex</i>.</p>	

Anexo 03: Ficha de consolidado de control de mortandad en ensayo de laboratorio (resultados del ensayo).

Ficha de consolidado de control de mortandad - CL50-48H

Contaminante	Tratamiento	concentración (%)	individuos	muerres 24H	muerres 48H	Muerres a 48H (%)
Agua	Punto 1	100	50	7	12	24
Agua	Punto 1	50	50	3	6	12
Agua	Punto 1	25	50	1	4	8
Agua	Punto 1	12.5	50	2	4	8
Agua	Punto 1	6.25	50	0	2	4
Agua	Punto 1	0	50	0	0	0
Agua	Punto 2	100	50	5	9	18
Agua	Punto 2	50	50	3	7	14
Agua	Punto 2	25	50	2	5	10
Agua	Punto 2	12.5	50	2	4	8
Agua	Punto 2	6.25	50	0	1	2
Agua	Punto 2	0	50	0	0	0
Agua	Punto 3	100	50	4	9	18
Agua	Punto 3	50	50	4	7	14
Agua	Punto 3	25	50	1	4	8
Agua	Punto 3	12.5	50	0	2	4
Agua	Punto 3	6.25	50	0	2	4
Agua	Punto 3	0	50	0	1	2
Sedimento	Punto 4	100	50	15	29	58
Sedimento	Punto 4	50	50	7	16	32
Sedimento	Punto 4	25	50	5	8	16
Sedimento	Punto 4	12.5	50	2	6	12
Sedimento	Punto 4	6.25	50	1	4	8
Sedimento	Punto 4	0	50	0	0	0
Sedimento	Punto 5	100	50	20	36	72
Sedimento	Punto 5	50	50	12	21	42
Sedimento	Punto 5	25	50	7	12	24
Sedimento	Punto 5	12.5	50	3	7	14
Sedimento	Punto 5	6.25	50	0	2	4
Sedimento	Punto 5	0	50	0	0	0
Sedimento	Punto 6	100	50	13	24	48
Sedimento	Punto 6	50	50	6	14	28
Sedimento	Punto 6	25	50	2	6	12
Sedimento	Punto 6	12.5	50	1	3	6
Sedimento	Punto 6	6.25	50	0	1	2
Sedimento	Punto 6	0	50	0	0	0

## Anexo 04: Constancia de ejecución de pruebas de ensayos toxicológicos.



*"Ciencia y educación para un mañana sostenible"*

El que suscribe, Vicepresidente de la "Asociación para la Ciencia y el Desarrollo Ambiental Natural Way", inscrita en Registros Públicos con partida número 11141944 y con RUC 20601849152, deja en

## CONSTANCIA

Que el Sr. CORNEJO CALVO RAMIRO DIDI, identificado con DNI N° 01309781, ha realizado pruebas de ensayos ecotoxicológicos en nuestras instalaciones durante los meses de agosto y setiembre del 2021 como parte de su trabajo de investigación de Tesis titulada «Toxicidad del agua y sedimentos de la desembocadura del río Coata aplicados sobre *Daphnia pulex*, Coata – Puno»

Se expide la presente CONSTANCIA a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Puno, 01 de noviembre del 2021.



*[Handwritten signature]*

Bigo. Joel Zapana Estrada  
Vicepresidente

Asociación para la ciencia y el desarrollo ambiental, Natural Way

"Asociación para la Ciencia y el Desarrollo Ambiental, Natural Way"; Jirón Ricardo Palma 243, PUNO, PUNO, PERÚ

Email: nwa.peru@gmail.com – Cel. +51 923761234 / 940228331; Fb. page. Natural Way - PERÚ