



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

---

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD AGUDA EN LOS  
EFLUENTES DE LA BAHÍA DE CHETUMAL UTILIZANDO A  
*Capitella capitata* COMO BIOINDICADOR.

---

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

**CECILIA FERNANDA JOVEN PÉREZ**

DIRECTOR DE TESIS

**Dr. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

ASESORES

**Dr. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA**

**Dra. MARTHA GUTIÉRREZ AGUIRRE**

**Dra. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ**

**Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2023

---



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD AGUDA EN LOS EFLUENTES DE LA BAHÍA DE CHETUMAL UTILIZANDO A  
*CAPITELLA CAPITATA* COMO BIOINDICADOR.”

ELABORADO POR

**CECILIA FERNANDA JOVEN PÉREZ**

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:

  
Dr. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESOR:

  
Dr. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA

ASESOR:

  
Dra. MARTHA GUITÉRREZ AGUIRRE

ASESOR SUPLENTE:

  
Dra. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ

ASESOR SUPLENTE:

  
Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2023

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mi mamá, **Mildred Cecilia Pérez Sabattini**.

Por darme las alas para creer en mis sueños y metas. Por ser mi lugar seguro siempre que lo necesitaba.

A mi papá, **Fernando Joven Sánchez**.

Por inspirarme a ser mejor todos los días y darme las herramientas para lograrlo.

A mis hermanas, **Emilia Joven Pérez y Mildred Joven Pérez**.

Que me hacen querer ser tan valiente como ellas.

A mi **Kimmie, Tesis y Silvestre**.

Mis fieles compañeros.

## Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director de tesis, el Dr. **Víctor Hugo Delgado Blas**, a quien admiro y respeto. Gracias por recibirme en su laboratorio y enseñarme lo maravillosa que es la investigación, por los consejos y enseñanzas, gracias también por motivarme y brindarme toda su experiencia.

Gracias al Dr. **Russell Giovanni Uc Peraza**, por el tiempo brindado respondiendo todas mis preguntas, el apoyo en la realización de los análisis estadísticos y los valiosos consejos, por sus correcciones y comentarios que pulieron este trabajo.

A mi comité de tesis: Dr. **Martha Angélica Gutiérrez Aguirre**, Dr. **Carrión Jiménez José Manuel**, Dra. **Jennifer Denisse Ruiz Ramírez**, por aceptar ser parte de este trabajo y la valiosa colaboración.

Al M.C. **Jaime Alfredo Castillo Rodríguez**, por la facilitación de material y equipo de laboratorio para la elaboración de esta tesis.

Gracias a mis colegas, **Diana May**, **Claudia Hernández** y **Anabella Méndez**, con quienes compartí increíbles momentos en el laboratorio de suelos. Chicas, gracias por todos los consejos, las pláticas y ratos riéndonos. Por brindarme su amistad en esos meses que más lo necesité.

A mi compañero de tesis y colega, **Osiel Tah**, con quien compartí esta experiencia y siempre estuvo impulsándome a terminar. Gracias amigo, sin ti, las mañanas recolectando bichos y las tardes escribiendo en el laboratorio no hubiesen sido tan divertidas.

A mis compañeros, **Melvin Rodriguez**, **Elsy Smith**, **Larissa Correa**, **Williams Jiménez**, **Pilar Casas**, **Daniela Caamal**. Les agradezco todos los buenos momentos que pasamos en la carrera, las salidas de campo, los trabajos y más. Ustedes hicieron que esos 5 años fueran inolvidables.

Quiero agradecer enormemente a toda mi familia, pero en especial a mi **mamá**, que es mi inspiración y la parte más grande de mi corazón, que es mi amiga y consejera.

Gracias por abrazarme y sostenerme. A mi **papá**, que amo y respeto. Gracias por enseñarme todo lo que soy hoy, por hacerme reír siempre que lo necesitaba. Por ustedes me permito soñar a lo grande, sé que todo estará bien si están aquí, conmigo.

A mi tía **Amelia** (tía Melly) y mi prima **Mylene**, dos grandes mujeres que siempre están para mí. Gracias por el apoyo incondicional que me han brindado, los consejos, palabras de ánimo y todo el cariño. No hay palabras que alcancen a expresar el agradecimiento que siento.

Agradezco a mis mejores amigas con todo el corazón. A **Dianita**, por acompañarme a los muestreos, ir a verme al laboratorio siempre que podía y estar ahí cuando lo necesitaba.

A **Mari**, mi alma gemela y confidente. Te agradezco estar para escucharme y recordarme el potencial que tengo. Hubo muchas veces que quise darme por vencido, pero siempre estuviste ahí, para ayudarme a superar todo. Te amo y espero siempre seguir creciendo juntas.

Muchísimas gracias a **Cher**, que estuvo apoyándome de inicio a fin. Este trabajo también es tuyo, porque no existiría sin tus consejos, cariño y porras. Gracias por estar en esta etapa de mi vida, me haces creer que puedo lograr todo lo que me proponga. Ojalá logre inspirarte como tú me inspiras.

Gracias a todas estas personas, que con sus palabras y acciones me recuerdan que *nunca camino sola*.

## Índice

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas.....	x
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	2
1.1    Introducción.....	3
1.2    Antecedentes.....	5
1.3    Justificación.....	9
1.4    Objetivos.....	10
1.4.1    Objetivo general.....	10
1.4.2    Objetivos específicos.....	10
1.5    Preguntas de investigación.....	10
1.6    Hipótesis.....	10
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.    Materiales y métodos.....	12
2.1    Organismos de prueba.....	13
2.1.1    Recolección.....	13
2.1.2    Identificación.....	14
2.1.3    Aclimatación.....	14
2.2    Muestras: Efluentes.....	14
2.2.1    Ubicación de los efluentes.....	14
2.2.2    Colecta de muestras de agua.....	16
2.3    Determinación de parámetros fisicoquímicos.....	16
2.3.1    Mediciones <i>in situ</i> .....	16
2.4    Limpieza de material.....	16
2.5    Construcción de sistemas de aireación para los bioensayos.....	17
2.6    Pruebas definitivas.....	17
2.6.1    Preparación agua salina.....	18
2.6.2    Preparación de diluciones.....	18
2.7    Cálculo de la Concentración Letal Media (CL <sub>50</sub> ).....	19
2.8    Unidades de toxicidad.....	19
2.9    Análisis estadístico.....	20

CAPÍTULO III RESULTADOS .....	21
3. Resultados .....	22
3.1 Parámetros fisicoquímicos de efluentes. ....	22
3.2 Bioensayos.....	23
3.2.1 Refugio de aves.....	23
3.2.2 CETMAR.....	25
3.2.3 Proterritorio.....	27
3.2.4 Chevrolet .....	29
3.2.5 Sam's.....	31
3.2.6 Obelisco.....	33
3.2.7 Muelle Fiscal.....	35
3.2.8 Dina .....	37
3.3 Análisis estadístico.....	39
3.4 Clasificación de peligrosidad .....	41
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN .....	42
4. Discusión.....	43
CAPÍTULO V CONCLUSIONES .....	48
5. Conclusiones.....	49
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES.....	50
6. Recomendaciones .....	51
7. Referencias .....	52
8. Anexos.....	60

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Sitio de recolección de <i>Capitella capitata</i> en la bahía de Chetumal. Mapa realizado con Google Earth.....	12
<b>Figura 2.</b> Material de campo para recolección de organismos (tamices, viales, pipetas, bolsas). 13	13
<b>Figura 3.</b> Especie de prueba <i>Capitella capitata</i> (Annelida: Polychaeta).....	14
<b>Figura 4.</b> Ubicación de los efluentes en el litoral de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Mapa realizado con Google Earth.....	15
<b>Figura 5.</b> Sistema de aireación.....	17
<b>Figura 6.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Refugio de Aves” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	24
<b>Figura 7.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “CETMAR” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	26
<b>Figura 8.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Proterritorio” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	28
<b>Figura 9.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Chevrolet” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	30
<b>Figura 10.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Sam’s” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	32
<b>Figura 11.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Obelisco” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	34
<b>Figura 12.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Muelle Fiscal” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	36
<b>Figura 13.</b> Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Dina” y estimación de la CL <sub>50</sub> (%) a 96 horas en <i>Capitella capitata</i> . ....	38
<b>Figura 14.</b> Gráfico Box Plot para mostrar la mediana, primer y tercer cuartil, valores mínimos y máximos, y valores extremos de la variable mortalidad para cada efluente. ....	40
<b>Figura 15.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Dina. ....	68
<b>Figura 16.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Muelle Fiscal. ....	68
<b>Figura 17.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Obelisco.....	69
<b>Figura 18.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Chevrolet. ....	69
.....	69
<b>Figura 19.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Sam’s.....	70
.....	70



<b>Figura 20.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Refugio de aves. .	70
.....	70
<b>Figura 21.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente CETMAR. ....	71
<b>Figura 22.</b> Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente de Proterritorio.....	71
<b>Figura 23.</b> Recolección y aclimatación de los organismos de <i>Capitella capitata</i> . ....	72
<b>Figura 24.</b> Efluentes <b>a)</b> Refugio de Aves, <b>b)</b> Obelisco, <b>c)</b> CETMAR, <b>d)</b> Proterritorio.....	74
<b>Figura 25.</b> Efluentes <b>e)</b> Chevrolet, <b>f)</b> Sam's, <b>g)</b> Dina, <b>h)</b> Muelle Fiscal .....	75

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Coordenadas geográficas de los efluentes de la Ciudad de Chetumal. ....	15
Tabla 2.	Volumen de agua salina y muestra del efluente para realizar la dilución. ....	19
Tabla 3.	Sistema de clasificación de peligrosidad de las aguas residuales vertidas al medio acuático (Persoone <i>et al.</i> , 2003). ....	20
Tabla 4.	Parámetros fisicoquímicos de efluentes en la Bahía de Chetumal. ....	22
Tabla 5.	Resultados de toxicidad del efluente "Refugio de Aves".....	23
Tabla 6.	Resultados de toxicidad del efluente "CETMAR". ....	25
Tabla 7.	Resultados de toxicidad del efluente "Proterritorio".....	27
Tabla 8.	Resultados de toxicidad del efluente "Chevrolet". ....	29
Tabla 9.	Resultados de toxicidad del efluente "Sam's".....	31
Tabla 10.	Resultados de toxicidad del efluente "Obelisco".....	33
Tabla 11.	Resultados de toxicidad del efluente "Muelle Fiscal" .....	35
Tabla 12.	Resultados de toxicidad del efluente "Dina". ....	37
Tabla 13.	Estadística descriptiva de la variable dependiente (Mortalidad). ....	39
Tabla 14.	Sistema de clasificación de peligrosidad de las aguas residuales vertidas al medio acuático (Persoone <i>et al.</i> , 2003). ....	41
Tabla 15.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Dina con <i>Capitella capitata</i> .....	60
Tabla 16.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Muelle Fiscal con <i>Capitella capitata</i> . ....	61
Tabla 17.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Obelisco con <i>Capitella capitata</i> . ....	62
Tabla 18.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Chevrolet con <i>Capitella capitata</i> . ....	63
Tabla 19.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Sam's con <i>Capitella capitata</i> ... ..	64
Tabla 20.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Refugio de Aves con <i>Capitella capitata</i> .....	65
Tabla 21.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente CETMAR con <i>Capitella capitata</i> . ....	66
Tabla 22.	Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Proterritorio con <i>Capitella capitata</i> . ....	67

## Resumen

La contaminación de la Bahía de Chetumal está fuertemente relacionada con las descargas de aguas residuales (clandestinas, municipales y pluviales). Para determinar el verdadero impacto de las liberaciones accidentales o voluntarias de tóxicos a este sistema acuático, el presente trabajo tuvo como objetivo general determinar los niveles de toxicidad de efluentes urbanos, utilizando a la especie de poliqueto *Capitella capitata* como organismo de prueba debido a su importancia ecológica y distribución en la bahía de Chetumal, además de ser considerado un poliqueto oportunista es un importante indicador universal de la contaminación orgánica en sedimentos marinos debido a su alta tolerancia a las condiciones anóxicas presentes en este compartimiento. En el presente estudio, se realizaron pruebas de toxicidad de ocho efluentes (Dina, Chevrolet, Sam's, Muelle fiscal, Obelisco, Refugio de aves, CETMAR y Proterritorio) que desembocan en la bahía de Chetumal, se usó una cámara de bioensayos con 5 concentraciones (100%, 75%, 50%, 25% y 12.5%) para cada efluente, y se utilizó al poliqueto *Capitella capitata* como especie de prueba para el periodo exposición de 96 horas. Para la determinación de la CL<sub>50</sub> de los efluentes se utilizó el método "Spearman-Karber". El grado de toxicidad de los efluentes se obtuvieron a partir del cálculo de las Unidades de Toxicidad (U.T.) en función de la CL<sub>50</sub> obtenida de cada efluente, y fueron clasificados con base al sistema de peligrosidad correspondiente a aguas residuales vertidas al medio acuático. Los efluentes evaluados con *Capitella capitata* presentaron en términos de CL<sub>50</sub> un intervalo de 56.5 a 85.7%. Estos resultados mostrarán dos efluentes con mayor toxicidad, los cuales fueron Sam's (56.48%) y Proterritorio (59.29%). Además, los valores de las Unidades de Toxicidad (U.T.) obtenidas en este trabajo, mostró que todos los efluentes evaluados presentaron niveles de toxicidad aguda y fueron clasificados en la Clase III, el cual significa peligro agudo. Esto indica que posiblemente los efluentes descargados a la bahía están generando algún efecto adverso a la biota local.

**Palabras clave:** Bahía de Chetumal, bioensayos, *Capitella capitata*, contaminación marina, efluentes urbanos.

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Introducción

La actividad humana produce una gran variedad de desechos que son liberados a los ambientes terrestres, acuáticos y atmosférico. Estos desechos antropogénicos pueden alterar el balance de los ciclos naturales en los ecosistemas, logrando afectar no solo la salud humana sino también a los seres vivos que habitan en los diferentes compartimientos ambientales (Rodríguez-Catanese, 2014). En el caso del medio acuático, la principal fuente de contaminación viene de las descargas de aguas residuales de origen municipal, drenajes pluviales y emisarios submarinos directos (Ciau-Pat, 2018), los cuales contienen mezclas complejas de diversas sustancias químicas tóxicas.

Debido a la problemática generada por las descargas de aguas residuales y otros contaminantes (metales, plaguicidas, residuos sólidos e hidrocarburos), se han buscado diferentes métodos para evaluar la calidad del agua y el nivel de afectación hacia la biota acuática. El método más utilizado para determinar los niveles de contaminación en aguas superficiales y sedimentos, es el análisis de sus componentes físicos y químicos; sin embargo, se ha demostrado que estos análisis no son suficientes al momento de proveer un diagnóstico sobre la situación del ecosistema, debido que la información es limitada en relación a las interacciones entre los contaminantes y/o biodisponibilidad de los mismos (Persoone *et al.*, 2003).

Por lo tanto, para determinar el verdadero impacto de las liberaciones accidentales o voluntarias de tóxicos al sistema acuático, se ha implementado un enfoque biológico con base a pruebas de toxicidad, empleando bioensayos con especies representativas de diferentes niveles tróficos de producción-consumo-degradación para cada zona de estudio (Persoone *et al.*, 2003). Lo ideal, es obtener una visión completa del grado de contaminación y sus efectos adversos en el ambiente con la combinación entre los análisis fisicoquímicos y los parámetros biológicos, a partir de bioensayos ecotoxicológicos como herramienta para evaluar de forma integral los impactos en la biota y su entorno.

La importancia ecológica y biológica de la bahía de Chetumal es fundamental, ya que funciona como hábitat de varias especies, tanto terrestres como acuáticas, de las cuales destaca el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*) representante de la región, además de las especies vegetales de manglar (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*) que forman ecosistemas de protección para la biota, el desove y desarrollo de larvas de peces y crustáceos de importancia biológica y comercial (Díaz-Gallegos & Acosta-Velázquez, 2009). A pesar de la importancia ecológica que representa las zonas aledañas a la bahía de Chetumal, las filtraciones de las fosas sépticas y la disposición inadecuada de los residuos sólidos han alterado en la última década los sistemas naturales y su biodiversidad (Álvarez-Legorreta, 1999).

Las pruebas de toxicidad aguda sirven para valorar las condiciones del agua de los efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la normativa de la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Guerrero-Jiménez *et al.*, 2017), además de que son utilizadas para detectar y evaluar los efectos potenciales adversos sobre los organismos acuáticos (Villamarín-Jiménez *et al.*, 2013). Estas pruebas de toxicidad permiten observar el efecto de agentes químicos o físicos en sistemas biológicos (organismos de prueba), creando una relación concentración-respuesta bajo condiciones controladas de laboratorio (Silva *et al.*, 2003). En los últimos años, la eficacia de las investigaciones ecotoxicológicas ha aumentado notablemente con el desarrollo de sistemas de pruebas de corto plazo (pruebas agudas de tipo estático), estas han sido metodológicamente perfeccionadas sobre la base de la experiencia histórica y las nuevas tecnologías (Moreira-Díaz, 1995). En este trabajo se utilizó al anélido *Capitella capitata* como organismo de prueba, ya que esta especie se encuentra en contacto directo con el medio donde vive (sedimento y agua) y debido a su poca movilidad lo hacen responder activamente a la presencia de sustancias contaminantes, también, su sensibilidad le permite manifestar cambios en su reproducción, crecimiento y mortalidad, lo cual lo hace un indicador biológico ideal para evaluar la toxicidad y calidad del agua (Elías *et al.*, 2021). De esta manera, en la presente tesis, se evaluó la toxicidad de los efluentes que desembocan en la Bahía de Chetumal, Quintana

Roo, empleando el uso de bioensayos de tipo estático y la especie *Capitella capitata* para generar información relevante sobre los impactos de los efluentes en la biota acuática de la región.

## 1.2 Antecedentes

En las últimas décadas, la contaminación de los ecosistemas acuáticos ha incrementado, derivado de las descargas de aguas residuales que no son tratadas, y son de origen urbano e industrial. Tales efluentes contienen altas cargas de materia orgánica, compuestos químicos, detergentes y plaguicidas (Caso Gregori, 2016) entre otros compuestos.

El parámetro toxicológico que comúnmente se mide para evaluar el impacto ambiental de una sustancia, es la toxicidad aguda expresada como Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) (Peña *et al.*, 2001); esta concentración es obtenida mediante bioensayos ecotoxicológicos en tiempos de exposición cortos (24 a 96 horas). Los bioensayos de toxicidad con efluentes utilizando organismos de prueba han sido usados para regular descargas en todo el mundo, ya que proveen una buena predicción de la toxicidad en las aguas receptoras, y su impacto biológico (Maltby *et al.*, 2000).

En Taiwán, Lee *et al.* (2016) utilizaron al cladóceros *Daphnia similis* y el pez de agua dulce *Cyprinus carpio* para examinar la toxicidad aguda de efluentes de aguas residuales. De los efluentes analizados, se encontró que el 67% fueron tóxicos para *D. similis* y un 27% para *C. carpio*. Los autores mencionaron que la toxicidad de los efluentes fue relacionada con la presencia de Hidróxido de Tetrametilamonio (TMAH).

Villamarín-Jiménez *et al.* (2013) evaluaron la toxicidad de dos efluentes de ALCO Ltda. (El efluente Cospique que descarga desechos industriales y el efluente Casimiro donde se vierten aguas de enfriamiento) en Colombia. Se analizó el efecto de estas descargas en los peces estuarinos *Gambusia affinis* en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas de exposición, con sistemas estáticos y sin recambio. El efluente Cospique mostró mayor letalidad mientras que los efluentes ALCO Ltda mostraron

una alta mortalidad en las máximas concentraciones y un menor tiempo de respuesta.

Rodríguez Catanese (2014) estudió los efectos de los efluentes en la provincia de La Palma, Argentina, implementando bioensayos con *Daphnia magna*. Se observó un alto porcentaje de mortalidad (83.33 y 90%) en dos puntos de muestreo dentro de la Laguna Don Tomas (Santa Rosa), indicando la presencia de compuestos tóxicos en la zona; de la misma forma, se evaluó la toxicidad en una zona adyacente de un taller mecánico, obteniendo un porcentaje alto de mortalidad (93.33%).

En Perú, Huamán-Lencias (2016) analizó la toxicidad del efluente de la bahía interior de Puno en el lago Titicaca, con la pulga de agua *Daphnia pulex*. Dicho cuerpo de agua es conocido por recibir aguas residuales procedentes de conexiones clandestinas. En bioensayos de 48 horas de exposición, se halló un valor de CL<sub>50</sub> de 78.82 y 69.20%. El efluente presentó una carga tóxica calificada como “considerable”, lo que indicó un riesgo potencial al ecosistema del Lago Titicaca.

En México, se cuenta con una norma mexicana NMX-087-SCFI-2010, que mide la toxicidad aguda mediante la definición de la Concentración Efectiva media (CE<sub>50</sub>), donde la respuesta evalúa la ausencia de movilidad o muerte, y bajo condiciones de exposición controlada del crustáceo del Orden Cladóceras *Daphnia magna*, durante 48 horas.

En Aguascalientes, Torres-Guzmán (2009) realizó pruebas de toxicidad aguda a 48 horas de aguas residuales, empleando dos organismos de prueba: *Daphnia magna* y *Lecane quadridentata*. Se analizaron 72 efluentes, los cuales 70 registraron toxicidad aguda sobre *L. quadridentata* correspondientes a épocas de sequía y 68 a épocas de lluvia. En las pruebas realizadas sobre *D. magna*, en épocas de sequía, 62 efluentes generaron toxicidad aguda y en épocas de lluvia 56 efluentes indicaron este mismo nivel de toxicidad.



Coll-Cruz (2017) determinó el grado de toxicidad del lixiviado del relleno sanitario de Bacalar, empleando a *Laeonereis culveri* como organismo de prueba en bioensayos de toxicidad a 48 horas. El valor de la CL<sub>50</sub> fue 41.31%. De acuerdo con la clasificación en U.T., se consideraron a los lixiviados como tóxicos para *Laeonereis culveri*.

Los efluentes de la bahía de Chetumal han sido motivo de investigación, por ejemplo, Gomez-Castillo (2014) evaluó la calidad de agua de seis puntos de descargas residuales a lo largo del Boulevard Bahía mediante la cuantificación de coliformes fecales, materia orgánica y fósforo. Los resultados obtenidos mostraron que el efluente Muelle Fiscal presentó las concentraciones más altas de los contaminantes analizados.

Sin embargo, como ya fue mencionado, los efectos crónicos de la contaminación son posibles de detectar por la respuesta de organismos o niveles de organización superiores (especies, poblaciones, comunidades) (Elías *et al.*, 2021). En los últimos años los poliquetos marinos han ganado reconocimiento como indicadores de perturbación ambiental debido a su abundancia, riqueza de especies, formas de alimentación y gran permanencia (Fernández-Rodríguez & Mesa-Londoño, 2015). Por ejemplo, Pocklington & Wells (1992) mencionan que los poliquetos son organismos representativos de su ambiente y son excelentes como organismos de prueba en bioensayos y como bioindicadores para monitorear la presencia de compuestos tóxicos en ambientes marinos.

Nah Song (2016) realizó la primera evaluación de toxicidad de diez efluentes en la Bahía de Chetumal. Determinó los valores de CL<sub>50</sub> mediante bioensayos de 96 horas utilizando a *Laeonereis culveri* como bioindicador. Los efluentes que presentaron la mayor mortalidad fueron el Muelle Fiscal (17.05%) y CETMAR (19.88%). De acuerdo con la clasificación en U.T., estos efluentes fueron clasificados como muy tóxicos y los organismos de *Laeonereis culveri* resultaron sensibles a los efluentes expuestos.

Posteriormente, Ciau-Pat (2018) determinó los niveles de toxicidad de los mismos fluentes que desembocan en la Bahía de Chetumal, utilizando *Daphnia magna* y evaluada en tres temporadas (secas, lluvias y nortes) características de la zona del estudio. Los resultados en términos de CL<sub>50</sub> mostraron que los efluentes más tóxicos fueron el Muelle Fiscal (17.65%), seguido por CETMAR (19.41%) y clasificandos como altamente tóxicos con respecto a sus Unidades de Toxicidad.

En el presente estudio se empleó el poliqueto *Capitella capitata* ya que es la especie más estudiada al estar asociada con ambientes contaminados a causa del incremento de materia orgánica (Fernández-Rodríguez & Mesa-Londoño, 2015). También, comparado con otras especies bentónicas (ej., camarones), *Capitella capitata* es más fácil de mantener en el laboratorio (Méndez-Ubach & Green-Ruí-z, 2006).

### 1.3 Justificación

La Bahía de Chetumal es distinguida por su importancia ecológica ya que en ella habitan una gran cantidad de especies representativas de la región, sin embargo, también es conocida por estar visiblemente contaminada (Herrera *et al.*, 2002; Gomez-Castillo, 2014; Nah-Song, 2016). Entre las principales fuentes de contaminación están las descargas domésticas de aguas residuales no tratadas provenientes de la ciudad de Chetumal (Álvarez Legorreta, 1999), las cuales pueden llegar a ser nocivas para la flora y fauna acuática del cuerpo receptor.

Pocos son los estudios que se enfocan sobre la contaminación de la bahía y sus principales contaminantes son las descargas de aguas residuales de origen urbano y/o clandestino. Nah-Song (2016) determinó por primera vez la toxicidad de diez efluentes que desembocan en la bahía usando los poliquetos de la especie *Laeonereis culveri* como organismo de prueba; posteriormente, Ciau-Pat (2018) replicó el trabajo con un crustáceo cladóceros de la especie *Daphnia magna*, sin embargo, debido al aumento de la población y la falta de soluciones en relación a las descargas residuales, es necesario realizar más estudios de toxicidad para observar y dar seguimiento sobre los impactos adversos de los efluentes sobre la biota de la bahía. Además, el uso de diferentes grupos taxonómicos o a nivel de especies en bioensayos ecotoxicológicos ayudará a obtener un amplio rango de respuestas biológicas y un mejor entendimiento de la toxicidad de la sustancia evaluada. Así, debido a su importancia ecológica y abundancia, se considera que los poliquetos *Capitella capitata* son la especie apropiada para realizar estudios ecotoxicológicos en condiciones controladas de laboratorio, debido a su fácil manejo, bajo costo y su rápida aclimatación, entre otros factores. Además, son considerados indicadores de contaminación, debido a su capacidad de invadir áreas contaminadas por causas naturales o artificiales (Pearson & Rosenberg, 1978b).

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Evaluar la toxicidad de diez efluentes provenientes de la zona urbana que descargan en la Bahía de Chetumal, utilizando la especie de poliqueto *Capitella capitata* como organismo de prueba.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Determinar la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) de diez efluentes con la especie *Capitella capitata*.
- Determinar el efluente con mayor toxicidad de la zona.
- Evaluar la sensibilidad de *Capitella capitata* como bioindicador mediante pruebas de toxicidad aguda a 96 horas.

## **1.5 Preguntas de investigación**

- ¿Cuál es la CL<sub>50</sub> de cada efluente?
- ¿Qué efluente presenta el mayor nivel de toxicidad?
- ¿Será *Capitella capitata* un bioindicador sensible para las pruebas de toxicidad aguda?

## **1.6 Hipótesis**

- *Capitella capitata* es una especie sensible a la toxicidad de los efluentes evaluados.
- El efluente del Muelle Fiscal presentará la mayor toxicidad.

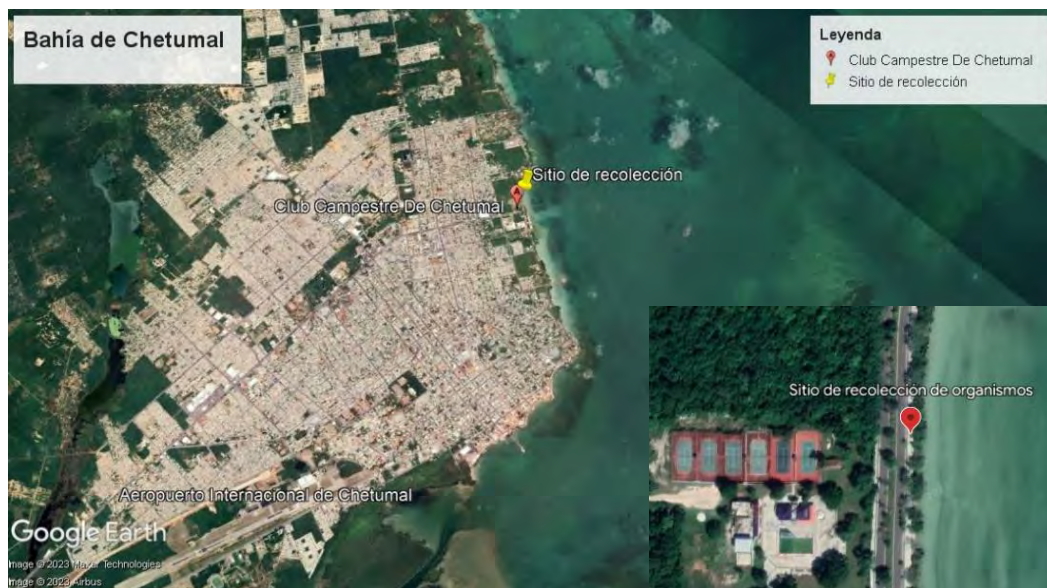
**CAPÍTULO II.**

**MATERIALES Y**

**MÉTODOS**

## 2. Materiales y métodos

Se colectaron muestras de agua de diferentes efluentes que desembocan en la Bahía de Chetumal con el propósito de calcular la  $CL_{50}$  de cada uno, al mismo tiempo se determinaron los parámetros fisicoquímicos *in situ*. Las pruebas de toxicidad fueron realizadas con la especie de poliqueto *Capitella capitata*, y para la aclimatación de los organismos se colectó sedimento y agua del mismo sitio de muestreo con las coordenadas: 18°30'47.91" N y 88°16' 33.36" O (Figura 1). Además, el muestreo de los organismos fue realizado en zonas libres de descargas residuales.



**Figura 1.** Sitio de recolección de *Capitella capitata* en la bahía de Chetumal. Mapa realizado con Google Earth.

Con el propósito de crear un ambiente con las condiciones semejantes al hábitat de los organismos, se midieron los parámetros fisicoquímicos (salinidad, pH, oxígeno disuelto y temperatura) del agua para poder replicarlos en el laboratorio.

## 2.1 Organismos de prueba

### 2.1.1 Recolección

Se recolectaron organismos de *Capitella capitata* (Figura 3) con la ayuda de un nucleador de PVC y dos tamices con una abertura de malla de 1 y 0.5 mm, respectivamente. Posteriormente, se usaron pipetas Pasteur de plástico de 3 mL de capacidad de succión para la manipulación de los organismos. Cada individuo fue trasladado al laboratorio en un vial con agua del sitio de muestreo, esto para evitar el estrés y fragmentación de los organismos (Uc-Peraza & Delgado-Blas, 2012). El sedimento para los experimentos fue recolectado con el nucleador y transportado en bolsas de plástico selladas (Figura 2).



**Figura 2.** Material de campo para recolección de organismos (tamices, viales, pipetas, bolsas).

### **2.1.2 Identificación**

En el laboratorio, los organismos de *Capitella capitata* (Figura 3) fueron identificados con ayuda de un microscopio estereoscopio (Stemi SV 6). Para la identificación taxonómica de los especímenes adultos, se utilizaron las claves de Fauchald (1977) y Blake (2009). Una vez identificados los organismos, se seleccionaron individuos entre 42 a 45 mm de longitud y también se descartaron todos los organismos con algún daño, color pálido o con fragmentación (Uc Peraza & Delgado Blas, 2012).



**Figura 3.** Especie de prueba *Capitella capitata* (Annelida: Polychaeta).

### **2.1.3 Aclimatación**

Los organismos seleccionados se aclimataron en peceras con 2.5 litros de agua de la bahía de Chetumal, aireación constante y con una capa de 5 mm de sedimento del sitio, todo a condiciones semejantes a su hábitat natural durante 48 horas.

## **2.2 Muestras: Efluentes**

### **2.2.1 Ubicación de los efluentes**

Se consideraron los puntos de descargas señalados por Nah-Song (2016) para coleccionar muestras simples de agua de forma manual para la evaluación toxicológica de los efluentes. En la Tabla 1, se observa las coordenadas específicas de los puntos de muestreo (Figura 4).



**Tabla 1. Coordenadas geográficas de los efluentes de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo.**

Efluente	Coordenadas
1. <i>Dina</i>	18° 29' 3.07" N, 88° 18' 55.32" O
2. <i>Chevrolet</i>	18° 29' 50.70" N, 88° 18' 38.21" O
3. <i>Sam's</i>	18° 29' 39.20" N, 88° 18' 21.70" O
4. <i>Muelle fiscal</i>	18° 29' 34.72" N, 88° 17' 54.95" O
5. <i>Obelisco</i>	18° 29' 32.64" N, 88° 17' 51.45" O
6. <i>Refugio de aves</i>	18° 30' 1.04" N, 88° 17' 1.90" O
7. <i>CETMAR</i>	18° 30' 50.94" N, 88° 16' 31.38" O
8. <i>Proterritorio</i>	18° 31' 41.51" N, 88° 15' 58.63" O



**Figura 4.** Ubicación de los efluentes en el litoral de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Mapa realizado con Google Earth.

### **2.2.2 *Colecta de muestras de agua***

Con ayuda de una botella de Van Dorn (capacidad de 1 litro) se recolectó 1 litro de agua directamente de la desembocadura de cada efluente, después se vació la muestra en botellas de plástico con capacidad de 1 litro (previamente lavadas y etiquetadas con respecto al efluente), y se colocaron en contenedores para su posterior transporte al laboratorio. Este procedimiento se realizó de acuerdo a la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.

## **2.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos**

### **2.3.1 *Mediciones in situ.***

Se midió para cada efluente el pH con un potenciómetro marca HANNA (modelo HI991001), la temperatura con un termómetro de mercurio marca Brannan (modelo LO-TOX) y el oxígeno disuelto (OD) con un medidor de oxígeno disuelto marca HANNA (modelo HI9142). Todos los equipos fueron previamente calibrados de acuerdo con sus respectivos manuales de uso y mantenimiento.

## **2.4 Limpieza de material**

Todos los materiales empleados para la recolección, bioensayos exploratorios, definitivos y para determinación de parámetros *in situ* fueron lavados previamente de manera cuidadosa con HCl al 10% para plásticos y HNO<sub>3</sub> para vidrios, con el fin de eliminar impurezas que pudiesen alterar los resultados de los experimentos.

## 2.5 Construcción de sistemas de aireación para los bioensayos

Se construyeron 15 sistemas de aireación con mangueras de plástico para peceras y codos de 3 vías para conectarlas entre sí (Figura 5). Cada sistema contó con 10 salidas y fueron aireadas con bombas de aireación marca ELITE802.



**Figura 5.** Sistema de aireación.

## 2.6 Pruebas definitivas

Se seleccionaron al azar 10 organismos adultos y se depositaron en diferentes cámaras previamente armadas, las cuales fueron expuestas a los efluentes y monitoreadas por 96 horas en intervalos de 1, 2, 4, 8, 18, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas (APHA, 1992). Se observó en cada cámara, y se registró la mortalidad de los organismos para determinar los valores de  $CL_{50}$ . Los organismos que se consideraron muertos fueron aquellos que presentaron palidez o carecieron de movimiento al momento de ser observados en el microscopio estereoscópico. Las diluciones a las que se expusieron los organismos para calcular la  $CL_{50}$  se describen en los siguientes subtemas.

### ***2.6.1 Preparación agua salina***

Las disoluciones fueron realizadas con agua salina preparada en el laboratorio; por cada litro de agua destilada se agregó 14 g de sal marina de la marca “Ocenic”, con el fin de imitar las condiciones de salinidad (14 g/L) presentes en el lugar de recolección de los organismos de prueba.

### ***2.6.2 Preparación de diluciones***

Las disoluciones de los efluentes fueron a concentraciones de 100, 75, 50, 25, y 12.5% de acuerdo a EPA (1991) y considerando las condiciones de la norma NMXAA-087-SCFI-2010.

Se consideró un volumen total de disolución de 100 mL para el cálculo del volumen de muestra y volumen de agua salada requerida, empleando la siguiente fórmula:

$$C_d V_{m1} = C_m V_{m2}$$

Donde:

$C_d$ : concentración de la dilución deseada (%).

$V_{m1}$ : volumen de la muestra requerida para obtener la concentración deseada (100 mL).

$C_m$ : concentración de la muestra (%).

$V_{m2}$ : cantidad de muestra obtenida (mL).

En la tabla 2 se indica el volumen empleado de muestra y agua salina:

**Tabla 1. Volumen del efluente y de agua salina para realizar la dilución y obtener las concentraciones deseadas para los bioensayos.**

Concentración (%)	Volumen de muestra requerida (ml)	Volumen de agua salina requerida (ml)
12.5%	12.5	87.5
25%	25	75
50%	50	50
75%	75	25
100%	100	0

### 2.7 Cálculo de la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>)

Para el cálculo de la CL<sub>50</sub> se utilizó el Método “Spearman-Karber”, usando el *software* de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Hamilton *et al.*, 1977). Además, se comprobó los valores de la CL<sub>50</sub> con el método manual de Probit (Método de Unidades Probabilísticas) establecido en la Norma Mexicana NMX-087-SCFI-2010.






### 2.8 Unidades de toxicidad.

De acuerdo a la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-087-SCFI-2010, el grado de toxicidad de una muestra es expresada en U.T., el cual se obtiene mediante la siguiente relación:

$$U.T. = 100 / CL_{50} \text{ (o } CE_{50})$$

Posteriormente, los valores de U.T. obtenidos fueron utilizados para clasificar la peligrosidad de los efluentes de acuerdo a la clasificación de Persoone *et al.* (2003) (Tabla 3).

**Tabla 2. Sistema de clasificación de peligrosidad de las aguas residuales vertidas al medio acuático (Persoone et al., 2003).**

U.T.	Clase	Toxicidad	Símbolo
<0.4	Clase I	Sin toxicidad aguda	
<0.4<TU<1	Clase II	Ligera toxicidad aguda	
1<TU<10	Clase III	Toxicidad aguda	
10<TU<100	Clase IV	Alta toxicidad aguda	
TU>100	Clase V	Toxicidad aguda muy alta	

## 2.9 Análisis estadístico

Con el propósito de conocer el comportamiento de los datos obtenidos en las pruebas de toxicidad aguda, se realizó un análisis exploratorio (estadística descriptiva) de la variable de respuesta (mortalidad). Además, todos los datos de mortalidad de cada efluente fueron verificados con respecto a su normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de variancia (Prueba de Levene); sin embargo, no cumplieron con dicha característica. Por lo tanto, al no cumplirse los criterios de normalidad y homogeneidad de variancia de la variable dependiente en cada efluente, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis de una vía, con el objetivo de encontrar diferencias significativas entre los efluentes evaluados con respecto a la variable mortalidad. Todos los cálculos estadísticos se realizaron con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  en el paquete STATISTICA versión 12.

# **CAPÍTULO III**

# **RESULTADOS**

### 3. Resultados

#### 3.1 Parámetros fisicoquímicos de efluentes.

Los valores de los parámetros fisicoquímicos *in situ* en cada efluente fueron medidos en la temporada de lluvias (agosto-septiembre de 2022) (Tabla 4). El promedio de la salinidad fue 7 ppm, el oxígeno disuelto presentó una variación de 0.0 a 5.5 mg/L, la temperatura registró una variación de 28.6 a 30.2 °C y el pH presentó valores entre 7.25-8.14.

**Tabla 3.** Promedio y error estándar de los parámetros fisicoquímicos de efluentes en la Bahía de Chetumal.

Efluente	Salinidad (g/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
<i>Refugio de aves</i>	6 ± .15	3.3 ± .49	28.6 ± .16	7.73 ± .11
<i>CETMAR</i>	7 ± .15	4.2 ± .07	30.2 ± .16	7.61 ± .09
<i>Proterritorio</i>	6 ± .15	4.9 ± .14	29.4 ± .14	8.10 ± .17
<i>Chevrolet</i>	7 ± .11	4.9 ± .15	29.3 ± .17	7.92 ± .17
<i>Sam's</i>	6 ± .15	2.4 ± .12	29.6 ± .16	7.77 ± .18
<i>Obelisco</i>	7 ± .11	2.9 ± .13	29.8 ± .13	8.14 ± .17
<i>Muelle Fiscal</i>	6 ± .15	0.0 ± .05	29.5 ± .12	7.25 ± .16
<i>Dina</i>	6 ± .16	3.5 ± .07	29.5 ± .16	7.72 ± .18



### 3.2 Bioensayos.

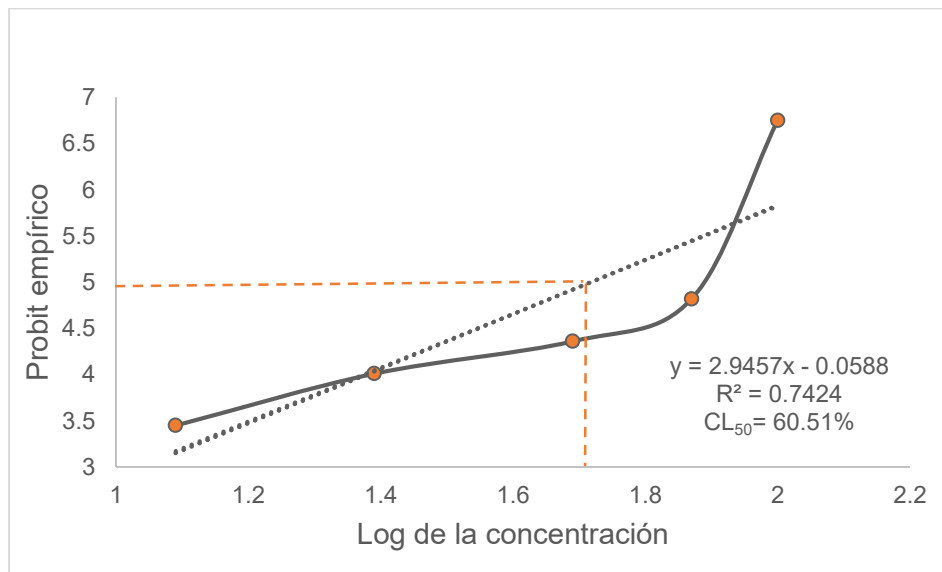
#### 3.2.1 Refugio de aves

Las pruebas de toxicidad permitieron determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Refugio de aves". La mortalidad más alta (96.6%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de concentración de 2 y un probit empírico de 6.75, mientras que la menor (6.6%) se registró en la concentración de 12.5% con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.45 (Tabla 4).

**Tabla 4.** Resultados de toxicidad del efluente "Refugio de Aves".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	29	96.6	2	6.75
75	30	13	43.3	1.87	4.82
50	30	8	26.6	1.69	4.36
25	30	5	16.6	1.39	4.01
12.5	30	2	6.6	1.09	3.45
Control	10	0	0	0	0

El valor de la CL<sub>50</sub> del efluente “Refugio de aves” fue 60.51% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 51.04% y un límite superior de 71.73%, y un coeficiente de determinación de 0.74 (Figura 6).



**Figura 6.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Refugio de Aves” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

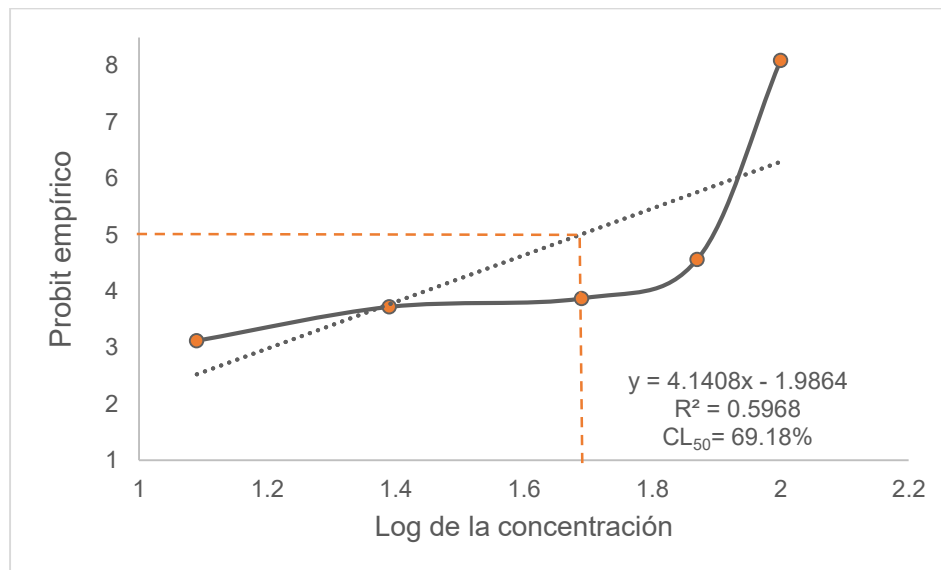
### 3.2.2 CETMAR

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "CETMAR". La mortalidad más alta (100%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 8.09, mientras que la menor (3.3%) se registró en la concentración de 12.5% con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.12 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Resultados de toxicidad del efluente "CETMAR".

Concentración (%)	No. de organismo	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	30	100	2	8.09
75	30	10	33.3	1.87	4.56
50	30	4	13.3	1.69	3.87
25	30	3	10	1.39	3.72
12.5	30	1	3.3	1.09	3.12
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “CETMAR” fue 69.18% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 60.81% y un límite superior de 78.70%, y un coeficiente de determinación de 0.59 (Figura 7).



**Figura 7.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “CETMAR” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

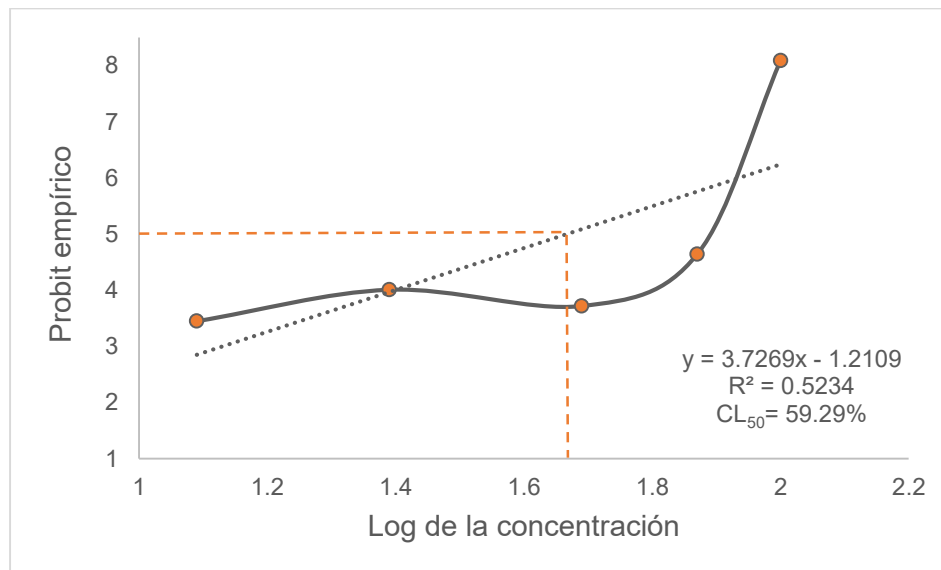
### 3.2.3 Proterritorio

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Proterritorio". La mortalidad más alta (100%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 8.09, mientras que la menor (6.6%) se registró en la concentración de 12.5% con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.45 (Tabla 6).

**Tabla 6.** Resultados de toxicidad del efluente "Proterritorio".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	30	100	2	8.09
75	30	11	36.6	1.87	4.64
50	30	10	33.3	1.69	3.72
25	30	5	16.6	1.39	4.01
12.5	30	2	6.6	1.09	3.45
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Protterritorio” fue 59.29% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 49.86% y un límite superior de 70.50%, y un coeficiente de determinación de 0.52 (Figura 8).



**Figura 8.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Protterritorio” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

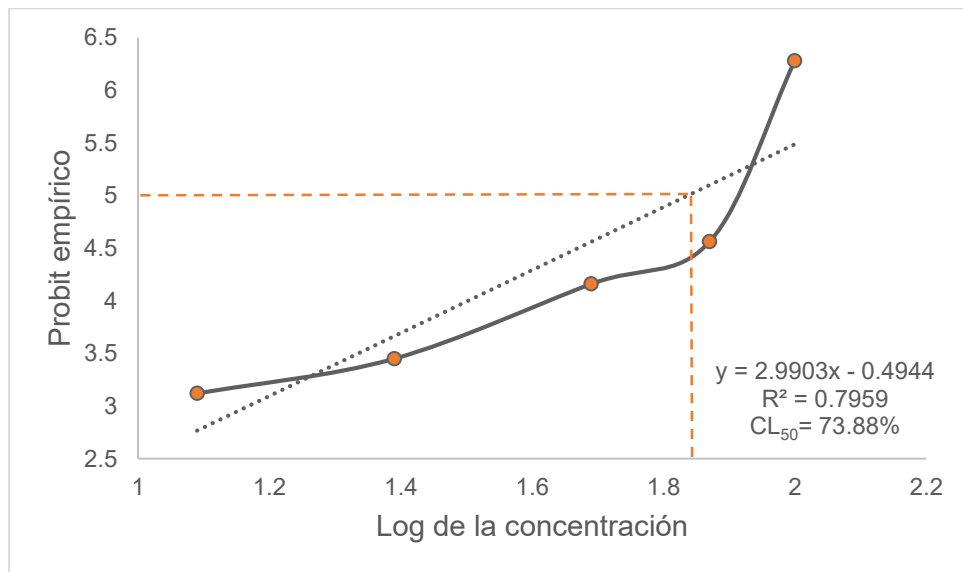
### 3.2.4 Chevrolet

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Chevrolet". La mortalidad más alta (90%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de concentración de 2 y un probit empírico de 6.28, mientras que la menor (3.3%) se registró en la concentración de 12.5% con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.12 (Tabla 7).

**Tabla 7.** Resultados de toxicidad del efluente "Chevrolet".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	27	90	2	6.28
75	30	10	33.3	1.87	4.56
50	30	6	20	1.69	4.16
25	30	2	6.6	1.39	3.45
12.5	30	1	3.3	1.09	3.12
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Chevrolet” fue 73.88% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 65.17% y un límite superior de 83.75%, y un coeficiente de determinación de 0.79 (Figura 9).



**Figura 9.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Chevrolet” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.



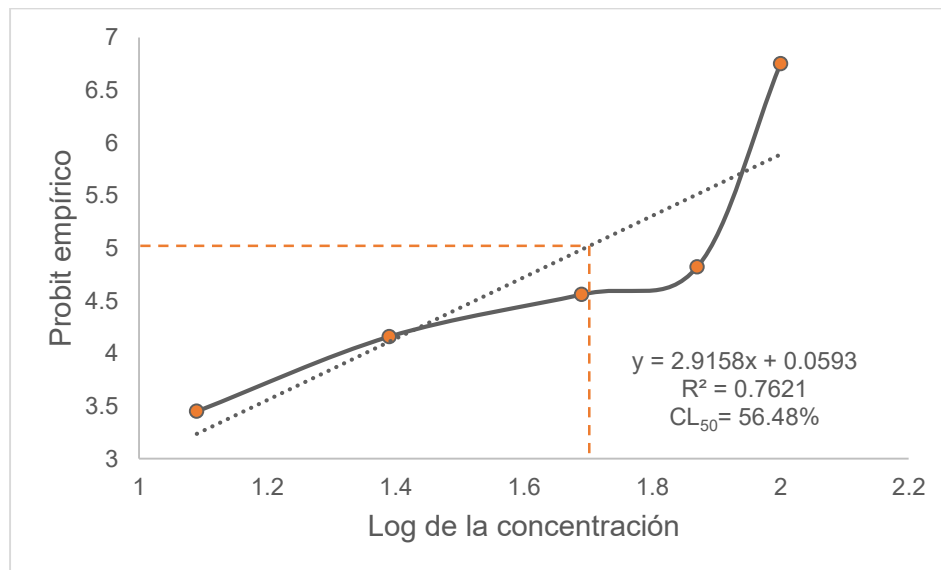
### 3.2.5 *Sam's*

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Sam's". La mortalidad más alta (96.6%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 6.75, mientras que la menor (6.6%) se registró en la concentración de 12.5% con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.45 (Tabla 8).

**Tabla 8.** Resultados de toxicidad del efluente "Sam's".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	29	96.6	2	6.75
75	30	13	43.3	1.87	4.82
50	30	10	33.3	1.69	4.56
25	30	6	20	1.39	4.16
12.5	30	2	6.6	1.09	3.45
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Sam’s” fue 56.48% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior a 47.20% y límite superior a 67.58%, y un coeficiente de determinación de 0.76 (Figura 10).



**Figura 10.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Sam’s” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

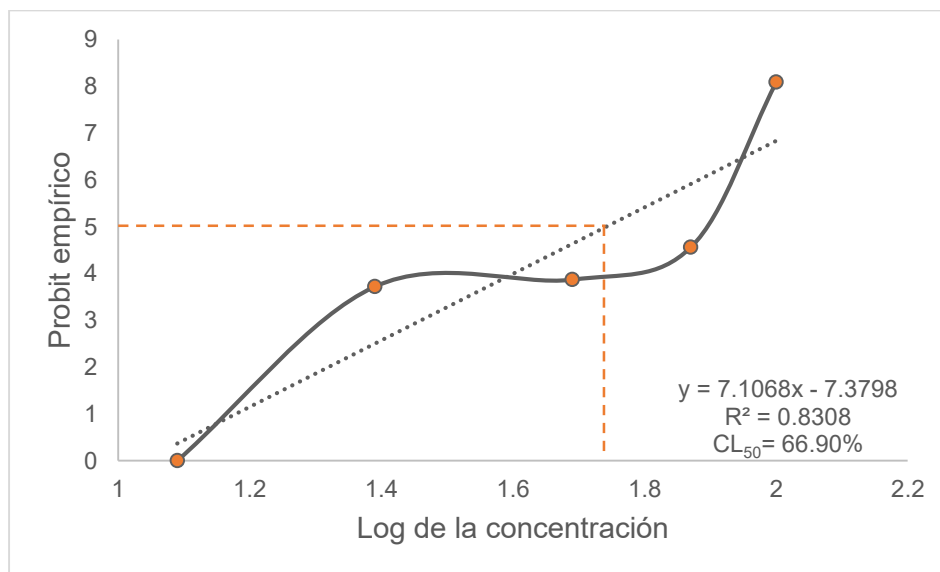
### 3.2.6 Obelisco

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Obelisco". La mortalidad más alta (100%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 8.09, mientras que la menor (10%) se registró en la concentración de 25% con el logaritmo de la concentración de 1.39 y un probit empírico de 3.72 (Tabla 9).

**Tabla 9.** Resultados de toxicidad del efluente "Obelisco".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	30	100	2	8.09
75	30	10	33.3	1.87	4.56
50	30	4	13.3	1.69	3.87
25	30	3	10	1.39	3.72
12.5	30	0	0	1.09	0
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Obelisco” fue 66.90% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior a 59.44% y límite superior a 75.30%, y un coeficiente de determinación de 0.83 (Figura 11).



**Figura 11.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Obelisco” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

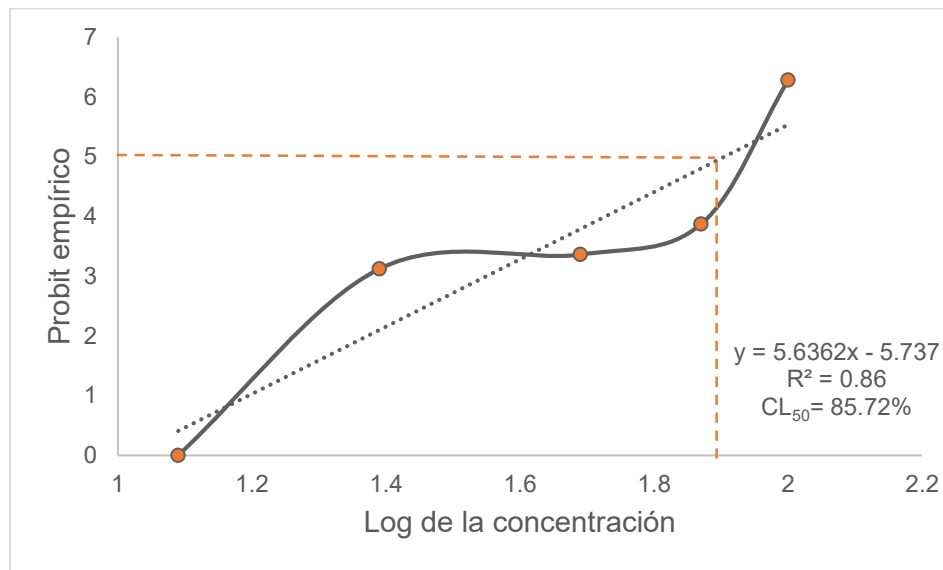
### 3.2.7 Muelle Fiscal

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Muelle Fiscal". La mortalidad más alta (90%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 6.28, mientras que la menor (3.33%) se registró en la concentración de 25% con el logaritmo de la concentración de 1.39 y un probit empírico de 3.12 (Tabla 10).

**Tabla 10.** Resultados de toxicidad del efluente "Muelle Fiscal".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	27	90	2	6.28
75	30	4	13.3	1.87	3.87
50	30	2	6.60	1.69	3.36
25	30	1	3.33	1.39	3.12
12.5	30	0	0	1.09	0
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Muelle Fiscal” fue 85.72% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 80.33% y límite superior de 91.48%, y un coeficiente de determinación de 0.85 (Figura 12).



**Figura 12.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Muelle Fiscal” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.

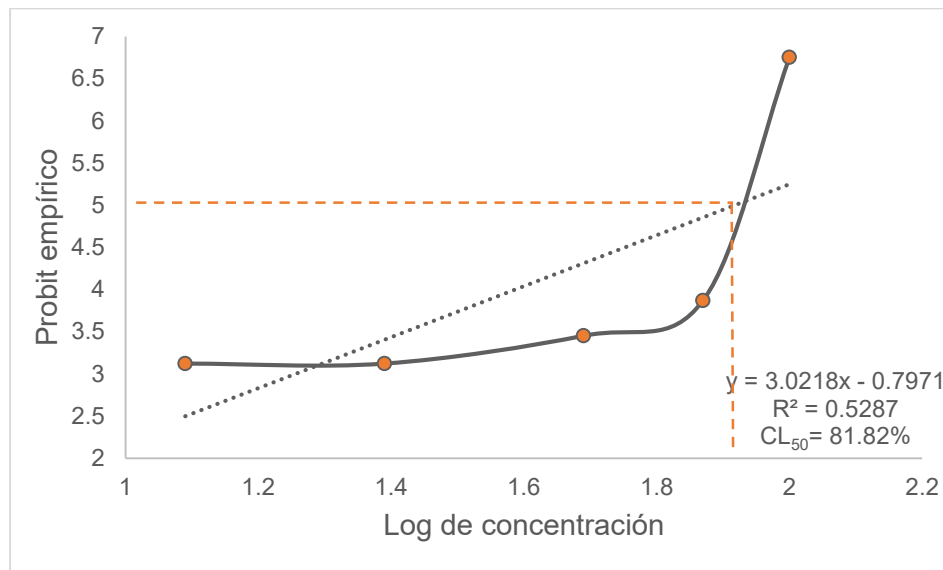
### 3.2.8 Dina

La prueba de toxicidad permitió determinar el porcentaje de mortalidad para cada concentración del efluente "Dina". La mortalidad más alta (96.6%) se registró en la concentración de 100% con el logaritmo de la concentración de 2 y un probit empírico de 6.75, mientras que la menor (3.3%) se reportó en la concentración de 12.5 con el logaritmo de la concentración de 1.09 y un probit empírico de 3.12 (Tabla 11).

**Tabla 11.** Resultados de toxicidad del efluente "Dina".

Concentración (%)	No. de organismos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortalidad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	29	96.6	2	6.75
75	30	4	13.3	1.87	3.87
50	30	2	6.6	1.69	3.45
25	30	1	3.3	1.39	3.12
12.5	30	1	3.3	1.09	3.12
Control	10	0	0	0	0

La CL<sub>50</sub> del efluente “Dina” fue 81.82% en un tiempo de exposición de 96 horas con un intervalo de confianza del 95%, el cual registró un límite inferior de 75.88% y límite superior de 88.24%, y un coeficiente de determinación de 0.52 (Figura 13).



**Figura 13.** Probit empírico contra Log de la concentración del efluente “Dina” y estimación de la CL<sub>50</sub> (%) a 96 horas en *Capitella capitata*.



### 3.3 Análisis estadístico.

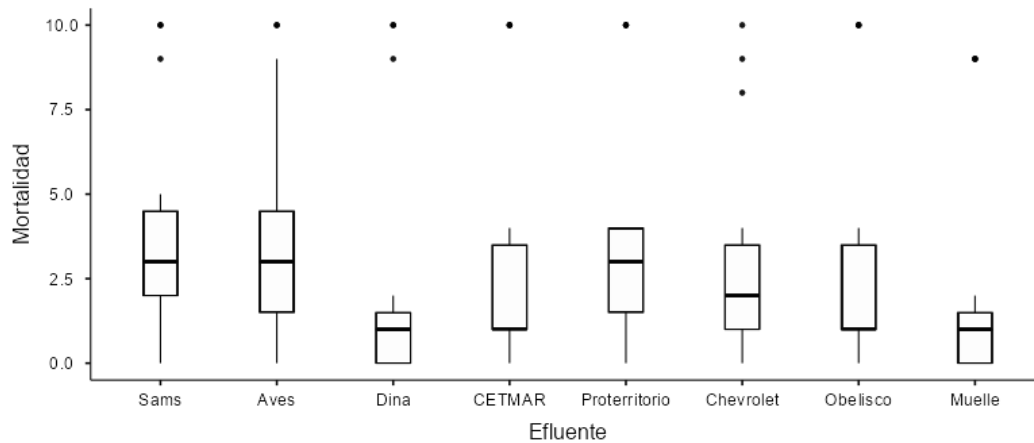
En la tabla 12, se presentan los resultados del análisis exploratorio de la variable de respuesta (Mortalidad) para las ocho pruebas de toxicidad. Sin embargo, la variable de respuesta no presentó una distribución normal (Prueba de Shapiro-Wilk,  $W=0.774$ ,  $p<.001$ ), por lo tanto, los resultados son representados con la mediana (2) y en cuartiles (25, 50 y 75%).

**Tabla 12.** Estadística descriptiva de la variable dependiente (Mortalidad).

<b>Variable dependiente: Mortalidad</b>	
<i>Número de valores</i>	120
<i>Media</i>	3.23
<i>Mediana</i>	2.0
<i>Moda</i>	1.0
<i>Desviación estándar</i>	3.45
<i>Shapiro-Wilk W</i>	0.774
<i>Shapiro-Wilk p</i>	<.001
<i>Percentil 25</i>	1.0
<i>Percentil 50</i>	2.0
<i>Percentil 75</i>	4.0

En general, los resultados del análisis exploratorio (Tabla 12) indican que tenemos una mediana de 2, por lo tanto, como podemos observar en la Figura 14, el primer cuartil del efluente “Sams” es el más cercano a este valor y cuenta con el valor en su tercer cuartil más lejano a la mediana, esto nos indica que la mortalidad tiene mayor distribución por arriba de la mediana, mientras que la distribución es menor por debajo de la mediana. Los efluentes “Refugio de aves” y “Proterritorio” tienen un comportamiento muy similar.

En el caso de “CETMAR” y “Obelisco” sus valores en el primer y tercer cuartil y la mediana son los mismos; los dos efluentes tienen una distribución por arriba de la mediana. Además, la mediana se encuentra más alejada del primer cuartil de “Dina” y “Muelle Fiscal”, y más cercana a los valores del tercer cuartil, lo que indica una mayor distribución en valores superiores a la mediana (Figura 14). Por último, el resultado del ANOVA no paramétrica (Prueba Kruskal-Wallis), no registró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los ocho efluentes evaluados con relación a la mortalidad. Por consiguiente, los resultados indican que todos los efluentes se comportaron de forma similar con respecto a la mortalidad de *Capitella capitata*.



**Figura 14.** Gráfico Box Plot para mostrar la mediana, primer y tercer cuartil, valores mínimos y máximos, y valores extremos de la variable mortalidad para cada efluente.

### 3.4 Clasificación de peligrosidad

El grado de toxicidad de los ocho efluentes con *Capitella capitata* fue clasificado con base a las Unidades de Toxicidad (U.T.) y siguiendo el sistema de clasificación establecida por Persoone *et al.* (2003) (Tabla 13).

**Tabla 13.** Sistema de clasificación de peligrosidad de las aguas residuales vertidas al medio acuático (Persoone *et al.*, 2003).

<b>Efluente</b>	<b>U.T.</b>	<b>Clase</b>	<b>Clasificación</b>
<i>Sam's</i>	1.77	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Proterritorio</i>	1.68	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Refugio de Aves</i>	1.65	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Obelisco</i>	1.49	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>CETMAR</i>	1.44	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Chevrolet</i>	1.35	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Dina</i>	1.22	Clase III	Toxicidad Aguda
<i>Muelle Fiscal</i>	1.16	Clase III	Toxicidad Aguda

Según las unidades tóxicas obtenidas, los ocho efluentes evaluados presentaron toxicidad aguda y fueron agrupados en la Clase III (peligro agudo).

# **CAPÍTULO IV**

## **DISCUSIÓN**

#### 4. **Discusión**

La expansión demográfica y la urbanización de las zonas costeras traen consigo la liberación de una gran variedad de desechos que llegan de manera directa o indirecta a los diferentes cuerpos de agua. Estas descargas pueden contener sustancias tóxicas que deterioren las condiciones de vida de plantas y animales acuáticos, afectando su reproducción, crecimiento y supervivencia (Bohórquez-Echeverry & Campos-Pinilla, 2007)

Existen evidencias que la Bahía de Chetumal es un cuerpo receptor de aguas residuales municipales, que contienen altas concentraciones de nutrientes y detergentes (Álvarez-Lagorreta, 2009). Canché Uuh (2002) realizó un estudio sobre la calidad del agua de la Bahía de Chetumal, y encontró que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados rebasaron la Norma Ecológica Mexicana NOM-001-ECOL-1996, relacionando este fenómeno con las descargas de aguas residuales. Además, González Bucio *et al.* (2008) calcularon la existencia de aproximadamente 30 efluentes en la zona costera que vierten sus aguas a la bahía sin tratamiento alguno, estas fuentes son provenientes de la ciudad. En otro estudio realizado por Gomez-Castillo (2014), evaluó seis puntos de descargas de aguas residuales en la bahía y encontraron valores de parámetros (coliformes fecales, materia orgánica y fósforo) que excedieron el límite máximo permisible marcado por la NOM-001-ECOL-1996. Además, mediante una caracterización, en 1997 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) determinó que la bahía de Chetumal y el río Hondo son sistemas fuertemente contaminados, inaceptables para el abastecimiento público (Álvarez-Lagorreta, 2009).

Debido a que los efluentes son mezclas complejas de diversas sustancias, la evaluación ambiental basada únicamente en el análisis fisicoquímico no es suficiente por sí sola para propósitos de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos (Iannacone *et al.*, 2000). Por lo tanto, el uso de bioensayos es útil para la evaluación de los efluentes o para contaminantes donde la toxicidad no ha sido evaluada correctamente por no conocerse sus componentes químicos analíticos (McCarty, 1991; Fiskesjo, 1993). Estas pruebas proporcionan información de

referencia que se puede utilizar para evaluar los riesgos de los agentes químicos sobre los organismos acuáticos y las condiciones de exposición (Rand & Petrocelli, 1985). En este contexto, existen dos estudios sobre la toxicidad de efluentes en la bahía de Chetumal, el primero realizado por Nah-Song (2016) utilizando la especie de poliqueto *Laeonereis culveri* (anélido), y el segundo por Ciau-Pat (2018) que utilizó la especie *Daphnia magna* que pertenece al grupo taxonómico de los crustáceos planctónicos.

En el presente estudio, se evaluó la toxicidad de ocho efluentes con concentraciones de 12.5% hasta 100% por un periodo de 96 horas con el poliqueto *Capitella capitata* proveniente de la bahía de Chetumal. Los valores de la CL<sub>50</sub> obtenidos fueron los siguientes: 56.48% (Sam's), 59.29% (Proterritorio), 60.51% (Refugio de aves), 66.90% (Obelisco), 69.18% (CETMAR), 73.88% (Chevrolet), 81.82% (Dina) y 85.72% (Muelle Fiscal). Las primeras muertes se registraron dentro de las primeras dos horas en la mayor concentración (100%) correspondiente al efluente del Muelle Fiscal, y en las concentraciones restantes (75%, 50%, 25% y 12.5) los organismos sobrevivieron y se registraron las mortalidades hasta las 18 horas de exposición. Los efluentes que corresponden a Dina, Obelisco y Refugio de aves presentaron mortalidad en las primeras 4 horas, mientras que los efluentes de Chevrolet, Sam's y Proterritorio hasta las 8 horas. El efluente donde los organismos presentaron más tolerancia fue CETMAR, presentando muertes hasta las 18 horas de exposición. También, se observó que el 50% de la mortalidad se alcanzó en la concentración más alta (100%) en un periodo de tiempo corto, mientras que para las concentraciones más bajas este tiempo es más prolongado, debido que la mortalidad puede depender tanto de la concentración del tóxico, como del tiempo de exposición al mismo (Villamarín-Jiménez *et al.*, 2013).

Los efluentes evaluados presentaron una CL<sub>50</sub> para *Capitella capitata* de 56.5 hasta 85.7%, mientras para *Laeonereis culveri* se encontró un intervalo de 17.05 a 107.78% (Nah-Song, 2016) y para *Daphnia magna* un intervalo, como promedio anual, de 17.65 a 53.76% (Ciau-Pat, 2018). Al parecer *Capitella capitata* es más tolerante a la toxicidad de los efluentes en comparación a *Laeonereis culveri* y

*Daphnia magna*. Resultados similares fueron encontrados en el estudio de Chan *et al.* (1992) donde *Capitella capitata* es la especie con más tolerancia a sedimentos fuertemente contaminados por aguas residuales en la Bahía de Nueva York en comparación con otras especies bentónicas (*Ceriantheopsis americanus*, *Nephtys incisa* y *Nucula proxima*) presentes en el cuerpo de agua. En otro estudio, Calderón-Ruiz *et al.*, (2019) demostraron que *Capitata capitata* es más tolerante a plaguicidas (malation) en comparación con otras especies de invertebrados acuáticos como el cangrejo *Chasmagnathus granulata* (Ferrero *et al.*, 2001), el molusco gasterópodo *Pomacea dilioides* (Rico *et al.*, 2011) y el crustáceo *Moina macrocopa* (Ren *et al.*, 2007), y vertebrados como los peces *Hyphessobrycon erythrostigma* (Rico *et al.*, 2011), *Carassius auratus* (Naserabad *et al.*, 2015) y *Oreochromis mossambicus* (Subburai *et al.*, 2018), la tolerancia puede deberse a que estos organismos poseen defensas bien desarrolladas a las fluctuaciones abióticas (Elliot & Quintino, 2007). Así mismo, *Capitella capitata* es considerado un poliqueto oportunista y un indicador universal de la contaminación orgánica en sedimentos marinos debido a su alta tolerancia a las condiciones anóxicas presentes en sedimentos enriquecidos (Pearson & Rosenberg, 1978; Méndez *et al.*, 2000).

Sin embargo, se ha demostrado que *Capitella capitata* responde a varios tóxicos (ej., cromo, cadmio, cobre, mercurio, etc.). Reish *et al.* (1975) determinaron mediante un bioensayo de 96 horas que los metales pesados como mercurio y cobre son muy tóxicos para *Capitella capitata*, seguidos del zinc, cromo, plomo y cadmio. También, Méndez (2002) sugiere que el cadmio es dañino para *Capitella capitata* en sus primeras fases de desarrollo. Del mismo modo, Méndez & Green-Ruiz (2006) analizaron la mortalidad significativa que presentan las larvas de *Capitella capitata* al ser expuestas a diferentes concentraciones de cadmio y cobre.

González-Bucio *et al.* (2002) determinaron la concentración de Zn, Pb, Cd y Hg en 27 puntos dentro de la zona costera de la Bahía de Chetumal durante la temporada de lluvias, donde las concentraciones de los metales superaron los límites máximos permisibles establecidos en la Norma oficial mexicana NOM-CCA-

031-ECOL/1993 en diferentes puntos de muestreo, lo cual significó que la distribución de los metales pesados está relacionada con las descargas residuales y el arrastre de contaminantes. Del mismo modo, González-Bucio *et al.* (2008) encontraron niveles elevados de cadmio (Cd = 1.00 µg/g), plomo (Pb = 5.63 µg/g), mercurio (Hg = 2.25 µg/g) y arsénico (As = 0.63 µg/g) en muestras de sedimento de 9 puntos de muestreo ubicadas a lo largo de la zona costera de la Bahía de Chetumal, en temporada de lluvias, atribuyéndole dichos niveles de metales a las descargas de aguas residuales (efluentes) y al aporte del río Hondo. Las concentraciones más elevadas de estos metales se encontraron en el Balneario Dos Mulas, Bellavista, Balneario Punta Estrella y en la Boca del río Hondo. Buenfil-Rojas & Flores-Cuevas (2007) determinaron la presencia de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb) en muestras de agua en el río Hondo. Los resultados indicaron que el cadmio, mercurio y arsénico presentaron niveles superiores a los permisibles señalados por la EPA (1991) en la desembocadura del Río Hondo. También, se tienen registros de la presencia de otros contaminantes en los efluentes pluviales que descargan en la bahía de Chetumal, como es el caso del estudio realizado por Bravo-Medrano (2008), este autor encontró concentraciones de coliformes fecales y nitrógeno inorgánico en los efluentes de Sam's, Chevrolet, Dina y Muelle Fiscal que rebasaron los límites permisibles establecidos por los criterios ecológicos de calidad de agua (CECA).

Los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad) medidos *in situ* previamente en los efluentes estudiados, nos permiten tener un panorama más completo para un mejor análisis de la toxicidad. La temperatura se mantuvo en un intervalo de 28.6-30.2 °C, este parámetro no excedió el límite máximo permisible establecido por la NOM-01-SEMARNAT-1996. La temperatura determina los parámetros biológicos en la comunidad bentónica dentro del ecosistema marino al estar vinculada a los procesos fisicoquímicos del sedimento y columna de agua (Herrera-Pérez & Méndez, 2019). Los valores de pH se mantuvieron constantes entre los efluentes, con un promedio de 7.28, el cual se encuentra dentro de los límites necesarios para la supervivencia y crecimiento de las especies acuáticas (Hernández-Ayón *et al.*, 2003). El oxígeno disuelto, a pesar



de tener valores muy bajos en algunos efluentes, no presenta relación en la mortalidad de los organismos, debido a que *Capitella capitata* posee una gran tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno (Méndez-Ubach & Green-Ruí-z, 2006).

Los valores de la  $CL_{50}$  fueron utilizados para calcular las unidades de toxicidad aguda (U.T.) de cada efluente evaluado y así poder clasificarlos de manera correcta (Calderón *et al.*, 2019). En el presente estudio, se utilizó el Sistema de Clasificación con Microbioensayos para Aguas Naturales y Aguas Residuales (Persoone *et al.*, 2003). A pesar de la tolerancia de *Capitella capitata* hacia la contaminación, todos los efluentes alcanzaron la clasificación “tóxico”, clase III: peligro agudo, con un rango de U.T. de 1.2-1.7 (Tabla 13). En el caso de la especie de poliquetos *Laeonereis culveri* (Nah-Song, 2016), todos los efluentes presentaron la misma clasificación que *Capitella capitata*: “tóxico clase III: peligro agudo; sin embargo, las Unidades de Toxicidad de cada efluente variaron en un rango de 1-5.12, indicando que *Capitella capitata* es más tolerante en comparación a la otra especie de poliqueto.

De esta forma, la toxicidad obtenida de los efluentes indica que puede estar impactando negativamente a la biota acuática de la bahía, considerando especies sensibles que habitan en el estuario. Los resultados reflejan la importancia de realizar estudios con bioensayos para conocer la toxicidad de sustancias que son vertidas en los cuerpos de agua y la respuesta de las especies de prueba, de esta manera obtener la información necesaria para evitar la contaminación de la zona costera. Es crucial la toma de acciones y estrategias para controlar estas descargas en el ambiente marino y estuarino.

# **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES**

## 5. Conclusiones

- Los bioensayos ecotoxicológicos demostraron que el poliqueto *Capitella capitata* es un excelente organismo de prueba para determinar la toxicidad de efluentes domésticos. Por lo tanto, es una especie apta para el monitoreo de la calidad de agua de la Bahía de Chetumal y como bioindicador de presencia de contaminantes en sedimento y agua.
- Los efluentes evaluados con base a los valores de CL<sub>50</sub> a 96 horas con *Capitella capitata* siguieron el siguiente orden de toxicidad (del más tóxico al menos tóxico): Sam's (56.48%), Proterritorio (59.29%), Refugio de aves (60.51%), Obelisco (66.90%), CETMAR (69.18%), Chevrolet (73.88%), Dina (81.82%) y Muelle Fiscal (85.72%).
- Las Unidades de toxicidad (U.T.) para los efluentes fueron: 1.77 (Sam's), 1.68 (Proterritorio), 1.65 (Refugio de aves), 1.49 (Obelisco), 1.44 (CETMAR), 1.35 (Chevrolet), 1.22 (Dina) y 1.16 (Muelle Fiscal). Todos fueron clasificados como tóxicos para *Capitella capitata* con base a la clasificación de Persoone *et al.* (2003).
- De acuerdo con los valores de U.T., Sam's fue el efluente que presentó la mayor toxicidad sobre *Capitella capitata* a 96 horas.
- Con base a la literatura, *Capitella capitata* es más tolerante que *Daphnia magna* y *L. culveri* en relación con los ocho efluentes evaluados en el presente estudio, esto posiblemente es atribuido a su alta tolerancia a condiciones abióticas, y a las condiciones específicas a las que fueron hechos los experimentos.

# **CAPÍTULO VI**

## **RECOMENDACIONES**

## 6. Recomendaciones

- Realizar bioensayos de toxicidad aguda con otras especies de diferentes niveles tróficos de la Bahía de Chetumal, como peces, moluscos y plantas acuáticas. Esto debido a que *Capitella capitata* resultó ser tolerante a los efluentes al ser comparado con los resultados de otros estudios.
- Debido que los efluentes son una mezcla de diferentes sustancias tóxicas, es recomendable realizar análisis químicos y biológicos de las aguas de cada efluente: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, coliformes totales y fecales, determinación de nutrientes y metales en los efluentes para obtener un panorama más amplio sobre la composición de las aguas que son vertidas en la Bahía de Chetumal.
- Realizar bioensayos crónicos o subletales para conocer los efectos de comportamiento, reproducción, crecimiento, afectaciones a los órganos y sistemas (respiratorio, digestivo, nervioso, etc.) en organismos acuáticos de diferentes grupos taxonómicos provenientes de la bahía de Chetumal.

## 7. Referencias

- Álvarez-Lagorreta, T. (2009). Contaminación acuática. En Espinoza-Avalos, J., Hernández-Arana, H. A. y Islebe, G. A. (Eds). El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe. *ECOSUR*, 205–217.
- Álvarez Legorreta, T. (1999). Contaminación en la zona costera. *Revista Ecofronteras*, 14, 16–17.
- APHA. (1992). Standard Methods for the examination of water and Wastewater. *Baltimore, Maryland, USA: Port City Press*.
- Blake, J. A. (2009). Redescription of *Capitella capitata* (Fabricius) from West Greenland and designation of a neotype (Polychaeta, Capitellidae). *Zoosymposia*, 2, 55–88.
- Bohórquez-Echeverry, P., & Campos-Pinilla, C. (2007). Assessment of *Lactuca sativa* and *Selenastrum capricornutum* like indicators of water toxicity. *Universitas Scientiarum*, 12(2), 83–98.
- Bravo-Medrano, A. A. (2008). Determinación de nitrógeno inorgánico y coliformes fecales en los efluentes pluviales y del manto freático que desembocan en la bahía de Chetumal. México.
- Buenfil-Rojas, M., & Flores-Cuevas, N. (2007). Determinación de metales pesados (As, Cd, Hg, y Pb) presentes en el río Hondo, Quintana Roo. In *Memorias del VI Congreso internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales, Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingenierías*.
- Calderón Ruiz, A., Delgado Blas, V. H., & Uc Peraza, R. G. (2019). Acute toxicity of Malation 500® and Tyson 4E® on *Capitella sp.* *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 565–574.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.04>
- Canché Uuh, J. A. (2002). Bahía de Chetumal: receptor principal de aguas

residuales. En: F.J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia*. 205–210. <https://www.researchgate.net/publication/290605962>

Caso Gregori, V. (2016). Valoración de la toxicidad de afluentes y efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales ( EDARs ) de la comunidad Valenciana mediante batería de ensayos.

Chan, S., Steimle, F. ., Reid, R. N., Fromm, S. A., Zdanowicz, V. ., & Pikanowski, R. A. (1992). Association of benthic microfauna with habitat types quality in the New York bight. *Mar Ecol Prog Ser*, 89, 237–251.

Ciau-Pat, I. (2018). Determinación temporal de los niveles de toxicidad aguda de los efluentes que desembocan en la zona conurbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo utilizando como bioindicador al cladóceros (*Daphnia magna*).

Coll Cruz, P. (2017). Determinación de la concentración letal media (CL50) del lixiviado del relleno sanitario de Bacalar, Quintana Roo utilizando *Laeonereis culveri* como bioindicador. .

Comisión Nacional de Agua, (CNA). (1997). Calidad del Agua e impacto ambiental. En Diagnóstico Región XII Península de Yucatán. Sistemas Hidráulicos y Ambientales, S.A. de C.V., 1-103. México: Comisión Nacional del Agua.

Díaz-Gallegos, J. R., & Acosta-Velázquez, J. (2009). Tendencias en la transformación del uso del suelo y la vegetación aledaña. *El Sistema Ecológico de La Bahía de Chetumal/Corozal: Costa Occidental Del Mar Caribe, November 2009*, 226–237. [https://www.researchgate.net/publication/337495981\\_Tendencias\\_en\\_la\\_transformacion\\_del\\_uso\\_del\\_suelo\\_y\\_la\\_vegetacion\\_aledana](https://www.researchgate.net/publication/337495981_Tendencias_en_la_transformacion_del_uso_del_suelo_y_la_vegetacion_aledana)

Elías, R., Méndez, N., Muniz, P., Cabanillas, R., Gutiérrez-Rojas, C., Rozbaczylo, N., Londoño-Mesa, M. H., Gárate Contreras, P. J., Cárdenas-Calle, M., Villamar, F., Laverde-Castillo, J. J. A., Brauko, K. M., Araki Braga, M., Da Cunha

- Lana, P., & Díaz-Díaz, O. (2021). Los poliquetos como indicadores biológicos en Latinoamérica y el Caribe. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 34(1), 1–72. <https://doi.org/10.47193/mafis.3412021010301>
- Elliot, M., & Quintino, V. (2007). The estuarine quality paradox, environmental homeostasis, and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Mar. Pollut. Bull.*, 54(6), 640–645.
- EPA. (1991). *Methods for aquatic toxicity identification evaluation. Phase III Toxicity characterization procedures. Second edition, Washinton.*
- Fauchald, K. (1977). The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera. *Natural History Museums of Los Angeles County, and Allan Hancock Foundation.*, 8, 1–188.
- Fernández-Rodríguez, V., & Mesa-Londoño, M. H. (2015). Poliquetos (Annelida : Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 18(1), 189–204.
- Ferrero, A. A., Gutiérrez, M. M., & Cervellini, P. M. (2001). Evaluación en laboratorio de la toxicidad aguda de los insecticidas malatión y deltametrina en *Chasmagnathus granulata* Dana (Crustacea, Brachyura, Grapsidae). *Investigaciones Marinas*, 29(1), 107–111. doi: 10.4067/S0717-71782001000100009
- Fiskesjo, G. (1993). The *Allium* Test in wastewater monitoring. *Toxicol Water Qual*, 8, 292–298.
- Gomez Castillo, A. A. (2014). *Estudio de la Contaminación por materia orgánica coliformes fecales y nutrientes en seis descargas de aguas en la Bahía de Chetumal Quintana Roo.*
- González-Bucio, J. L., Carrión-Jiménez, J. M., Yam-Gamboa, O., & Días-López, C. (2008). Contaminación de la bahía de Chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales



municipales. *Caos Conciencia*, 1, 5–11.

González-Bucio, J. L., Díaz-López, C., & Villegas-Casares, W. (2002). Metales Pesados en Sedimento de la Zona Costera de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Acta Nova*, 2(1), 64–71.

Guerrero-Jiménez, G., Rico-Martínez, R., & Silva-Briano, M. (2017). Monitoreo de una planta de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecanequadridentata*. *Hidrobiología*, 27(1), 87–92.

Hamilton, M. A., Russo, R. C., & Thurston, R. V. (1977). Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal. *Environ. Sci. Technol.*, 11, 714–719.

Hernández-Ayón, J. M., Zirino, A., Marinona, S. G., Canino-Herrera, R., & Galindo-Bect, M. S. (2003). Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias Marinas*, 29(4), 497–508.

Herrera-Pérez, M., & Méndez, N. (2019). Efecto de la temperatura y salinidad en la mortalidad de adultos de *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) en el laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, 67(5). <https://doi.org/DOI.10.15517/RBT.V67IS5.38926>

Huamán Lencinas, G. (2016). Toxicidad del efluente de la laguna de estabilización el espinar mediante bioensayos con *Daphnia pulex* y *Lactuca sativa* L. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

Iannacone, J., Dale, W., & Alvarino, L. (2000). Monitoreo ecotoxicológico del Río RIMAC (Lima-Perú) empleando a *Chironomus calligraphus* goeldi (Diptera: Chironomidae). *Journal Chemical*, 27, 25–34.

Lee, Y. C., Whang, L. M., Ngo, M. H., Chen, T. H., & Cheng, H. H. (2016). Acute toxicity assessment of TFT-LCD wastewater using *Daphnia similis* and *Cyprinus carpio*. *Process Safety and Environmental Protection*, 104(1), 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.03.003>

- Maltby, L., Clayton, S., McLoughlin, N., Wood, R., & Yin, D. (2000). Using single-species toxicity tests, community-level response, and toxicity identification evaluations to investigate effluent impacts. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(1), 151–157.
- McCarty, L. S. (1991). Toxicant body residues: implications for aquatic bioassays with some organic chemicals. Aquatic toxicology and risk assessment: Fourteenth Volume. ASTMSTP. M.A. Mayes & M.G. Barron (eds.). *American Society for Testing Materials, Philadelphia*, 183–192.
- Méndez-Ubach, N., & Green-Ruí-z, C. (2006). Advantages and disadvantages of performing ecotoxicological bioassays with larvae of polychaetes belonging to the *Capitella capitata* species-complex. *CICIMAR Oceanides*, 21(2006), 145–151. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v21i1-2.31>
- Méndez, N., & Green-Ruiz, C. (2006). Cadmium and copper effects on larval development and mortality of the polychaete *Capitella sp* Y from Estero del Yugo, Mazatlan, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 171(1–4), 291–299. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9047-0>
- Méndez, N., Linke-Gamenick, I., & Forbes, V. . (2000). Variability in reproductive mode and larval development within the *Capitella capitata* species complex. *Invertebrate Reproduction and Development*, 38, 131–142.
- Moreira Díaz, E. E. (1995). Fundamentos metodológicos de los bioensayos de oxidadad/carcinogenicidad. *Revista Cubana de Enfermería*, 3(11), 1–2.
- Nah-Song, I. R. (2016). Determinación de la concentración media CL (50) de diez efluentes que desembocan en la zona conurbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo utilizando *Laeonereis culveri* como bioindicador.
- Naserabad, S. S., Mirvaghefi, A., Gerami, M. ., & Farsani, H. . (2015). Acute toxicity and behavioral changes of the goldfish (*Carassius auratus*) exposed to malathion and hinosan. *Iran Journ. Toxicol*, 8(27), 1203–1208.

- NMX-087-SCFI-2010. (2011). *Análisis de agua- Evaluación de Toxicidad Aguda con Daphnia magna, Stratus (Crustacea-Cladocera)- Métodos de prueba. "Norma Oficial Mexicana". Diario Oficial de la Federación.*
- NOM-001-ECOL-1996. (1997). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. (2022). Norma Oficial Mexicana, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
- Pearson, T. ., & Rosenberg, R. (1978a). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. U.K.*, 16, 229–311.
- Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1978b). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 16(January), 229–331.
- Peña, C. E., Carter, D. E., & Ayala-Fierro, F. (2001). Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. In *Southwest Hazardous Waste Program*. <http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c2-3-4-2.html>
- Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Törökne, A., Zarina, D., Manusadzianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L., & Kolar, B. (2003). A Practical and User-friendly Toxicity Classification System with Microbiotests for Natural Waters and Wastewaters. *Environmental Toxicology*, 18(6), 395–402. <https://doi.org/10.1002/tox.10141>
- Pocklington, P., & Wells, P. G. (1992). Polychaetes Key taxa for marine environmental quality monitoring. *Mar. Pollut. Bull.*, 24, 593-598.
- Rand, G. M., & Petrocelli, S. . (1985). Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications. *Hemisphere Publi. Corp. Washington (USA)*.

- Reish, D. J., Martin, J. M., Piltz, F. ., & Word, J. . (1975). The effect of heavy metals on laboratory populations of two polychaetes with comparisons to the water quality conditions and standards in Southern California marine waters. *Water Res.*, 10, 299–302.
- Ren, Z., Zha, J., Wang, Z., & Gerhardt, A. (2007). The early warning of aquatic organophosphorus pesticide contamination by on-line monitoring behavioral changes of *Daphnia magna*. *Environ. Monit. Assess.*, 134(1–3), 373–383. doi: 10.1007/s10661-007-9629-y
- Rico, A., Waichman, A., Gerber-Correa, R., & Van den Brink, P. (2011). Effects of malathion and carbendazim on Amazonian freshwater organisms: Comparison of tropical and temperate species sensitivity distributions. *Ecotoxicology*, 20(4), 625–634. doi: 10.1007/s10646-011-0601-9
- Rodriguez Catanese, P. V. (2014). *Bioensayos aplicados a la evaluación de la toxicidad de efluentes industriales*.
- Silva, J., Torrejón, G., Bay-Schmith, E., & Larrain, A. (2003). Calibración del bioensayo de toxicidad con *Daphnia pulex* (Crustacea: cladóceras) usando un tóxico de referencia. *Gayana (Concepción)*, 67, 87–96.
- Subburai, A., Jawahar, P., Jayakumar, N., Srinivasan, A., & Ahilan, B. . (2018). Acute toxicity bioassay on malathion (EC 50%) on the fish *Oreochromis mossambicus* (Tilapia) and associated histological alterations in gills. *J. of Entomol. Zool. Stud.*, 6(1), 103–107.
- Torres Guzmán, F. (2009). *Estudio de la toxicidad en muestras de agua y sedimentos de la cuenca del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, empleando pruebas de toxicidad: Integración de estudios de campo y laboratorio*.
- Uc 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.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200004)

Villamarín-Jiménez, S., Chacón-Castro, M. F., & Álvarez-León, R. (2013). Puebas de toxicidad aguda CL (I) 50 en peces estuarinos (*Gambusia affinis*) utilizando efluentes industriales a la Bahía de Cartagena, Colombia. *Biosalud*, 12(2), 24–39.

## 8. Anexos

**Tabla 14. Mortalidad de *Capitella capitata* expuesta al efluente Dina a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	2	3	3	1	0	0	0	0	0	0	9	1
Réplica 2	0	0	1	3	5	1	0	0	0	0	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	2	3	5	0	0	0	0	0	0	0	10	0
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	8
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

**Tabla 15. Mortalidad de *Capitella capitata* expuesta al efluente Muelle**

**Fiscal a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	2	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	9	1
Réplica 2	0	0	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0	9	1
Réplica 3	0	1	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0	9	1
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	8
Réplica 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

**Tabla 16. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Obelisco con  
*Capitella capitata* a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	10	0
Réplica 2	0	0	1	2	3	4	0	0	0	0	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	10	0
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	4	6
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3	7
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	7
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	8
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10



**Tabla 17. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Chevrolet con  
*Capitella capitata* a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	2	1	3	1	1	0	1	0	0	9	1
Réplica 2	0	0	0	2	2	3	1	1	0	0	0	0	9	1
Réplica 3	0	0	0	1	1	2	2	2	0	1	0	0	8	2
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	7
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	4	6
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	7
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	8
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	8
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	8
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0		1	0	0	0	0	1	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

**Tabla 18. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Sam's con  
*Capitella capitata* a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	3	2	1	1	1	1	0	1	0	10	0
Réplica 2	0	0	0	3	2	1	1	2	0	1	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	0	4	3	1	0	1	0	0	0	0	9	1
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	5	5
Réplica 2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	4	6
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	4	6
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	4	6
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	3	7
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	7
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	8
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	8
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	8
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

**Tabla 19. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Refugio de  
Aves con *Capitella capitata* a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	2	1	2	2	3	0	0	0	0	10	0
Réplica 2	0	0	1	2	1	1	3	2	0	0	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	9	1
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	5	5
Réplica 2	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5	5
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	4	4
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3	7
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	7
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	8
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	8
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

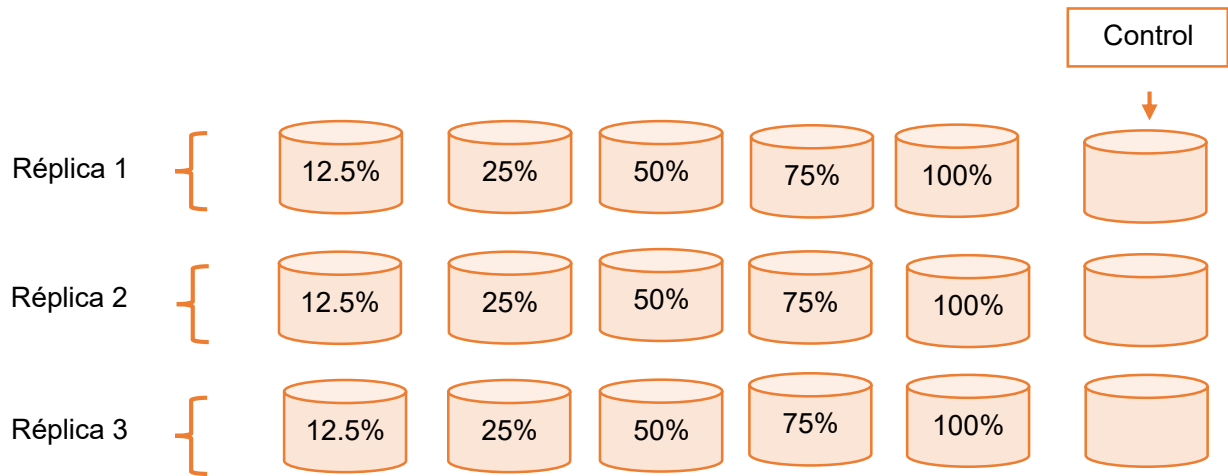
**Tabla 20. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente CETMAR con  
*Capitella capitata* a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	0	2	1	1	2	3	1	0	0	10	0
Réplica 2	0	0	0	0	3	2	1	3	1	0	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	0	0	2	3	1	2	2	0	0	0	10	1
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	4	6
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	7
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3	7
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	8
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

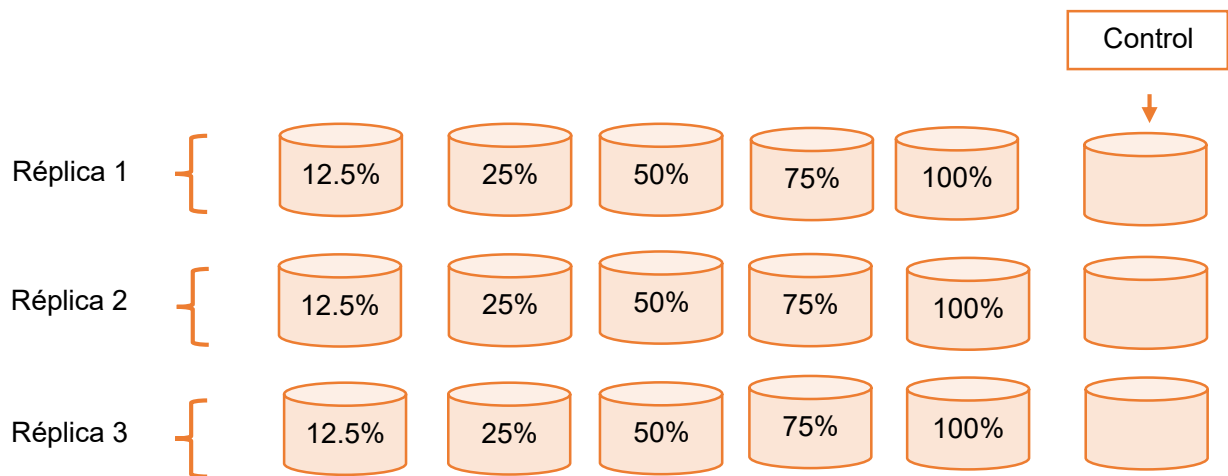
**Tabla 21. Mortalidad obtenida en el bioensayo del Efluente Proterritorio  
con *Capitella capitata* a a 96 h.**

Tiempo de exposición (horas)													Muertos	Vivos
1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96			
Concentración 100%														
Réplica 1	0	0	0	1	2	3	4	0	0	0	0	0	10	0
Réplica 2	0	0	0	0	3	3	3	1	0	0	0	0	10	0
Réplica 3	0	0	0	1	3	3	3	0	0	0	0	0	10	0
Concentración 75%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	4	6
Réplica 2	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	4	6
Réplica 3	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	7
Concentración 50%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	7
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	4	6
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	7
Concentración 25%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	8
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	8
Concentración 12.5%														
Réplica 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
Réplica 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

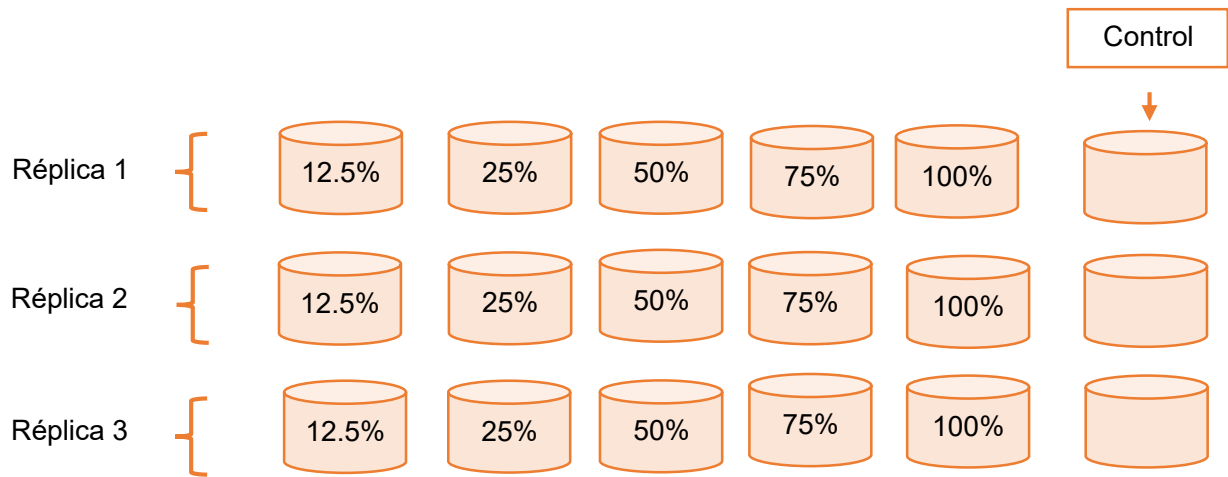
**Figura 15.** Esquematación de la cámara de bioensayos con el efluente Dina.



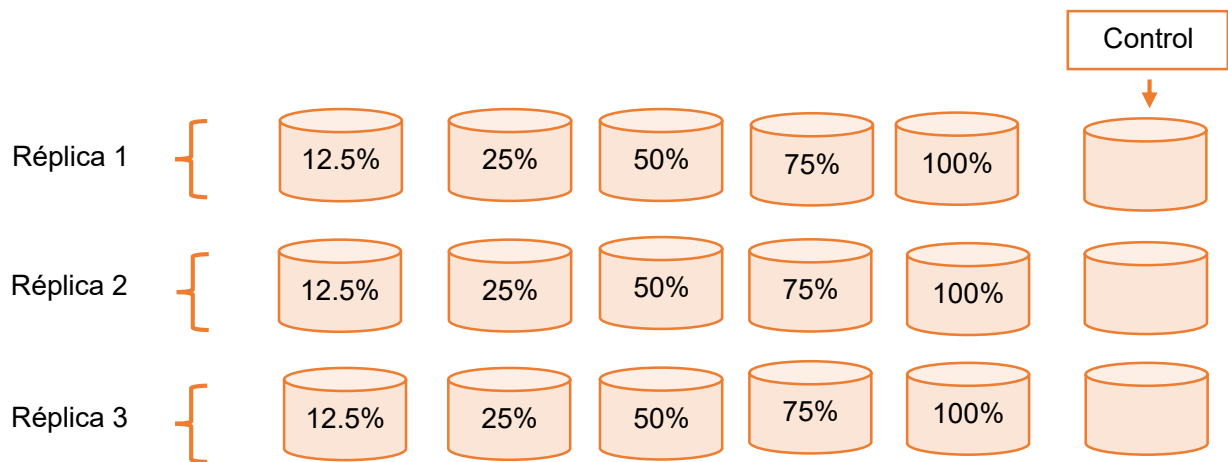
**Figura 16.** Esquematación de la cámara de bioensayos con el efluente Muelle Fiscal.



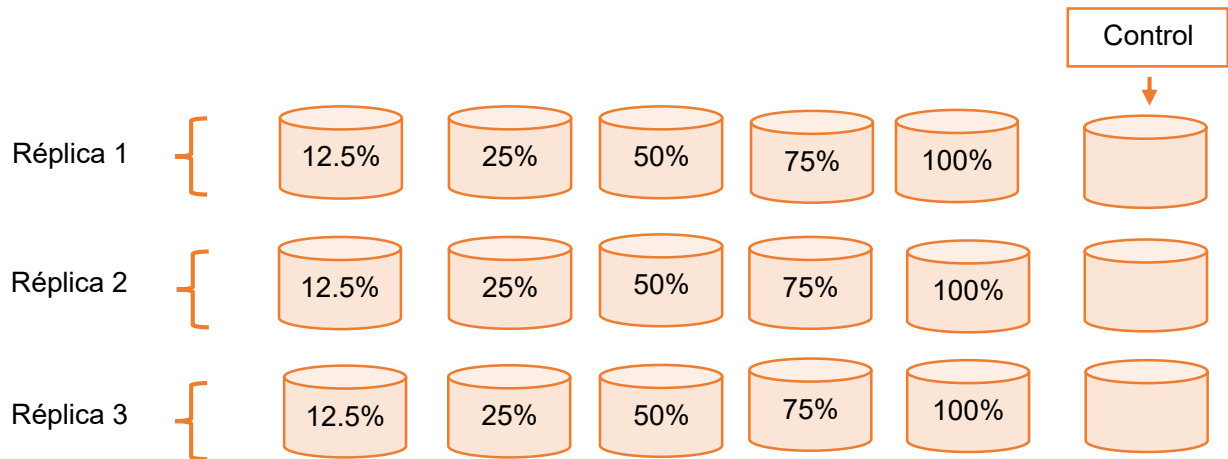
**Figura 17.** Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Obelisco.



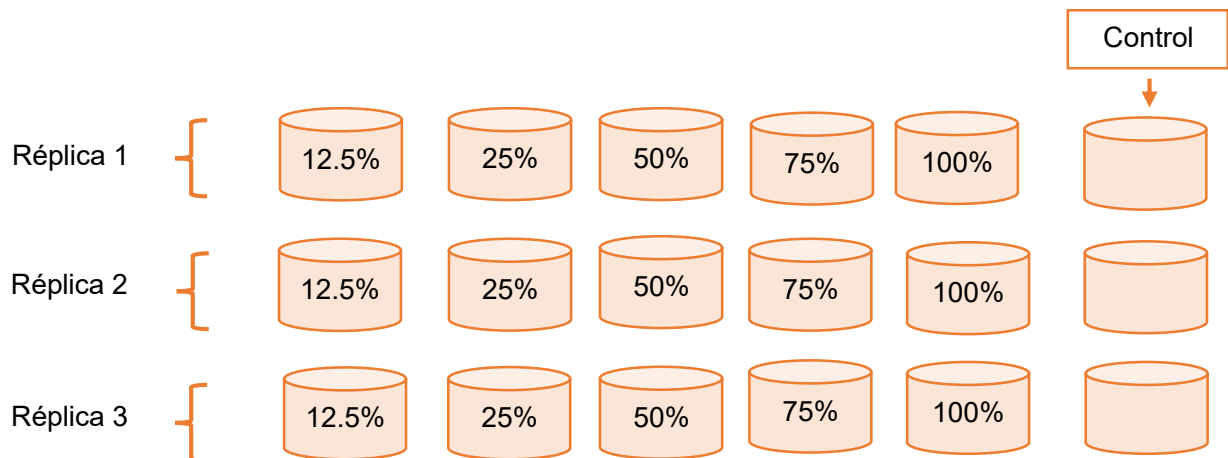
**Figura 18.** Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Chevrolet.



**Figura 19.** Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Sam's.

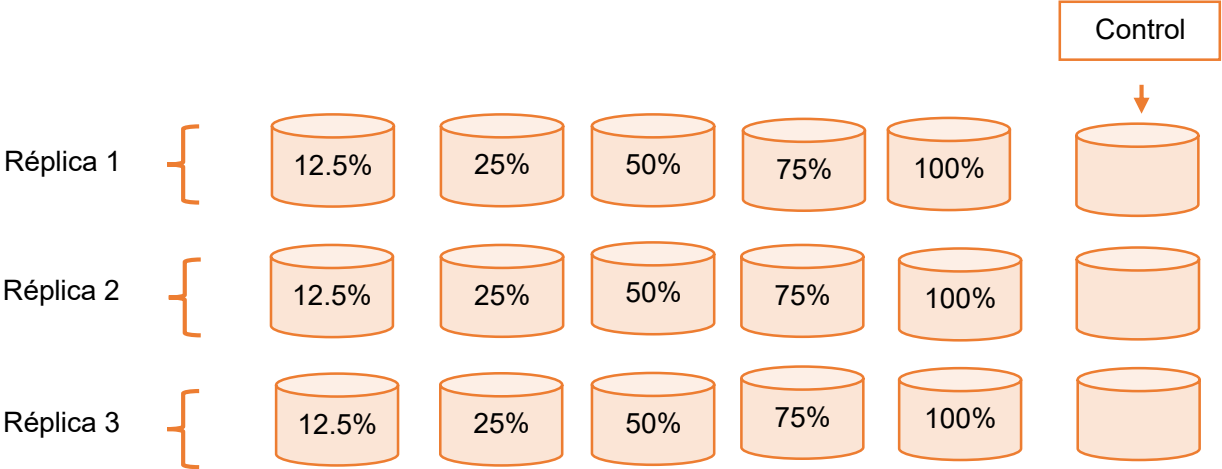


**Figura 20.** Esquematización de la cámara de bioensayos con el efluente Refugio de aves.

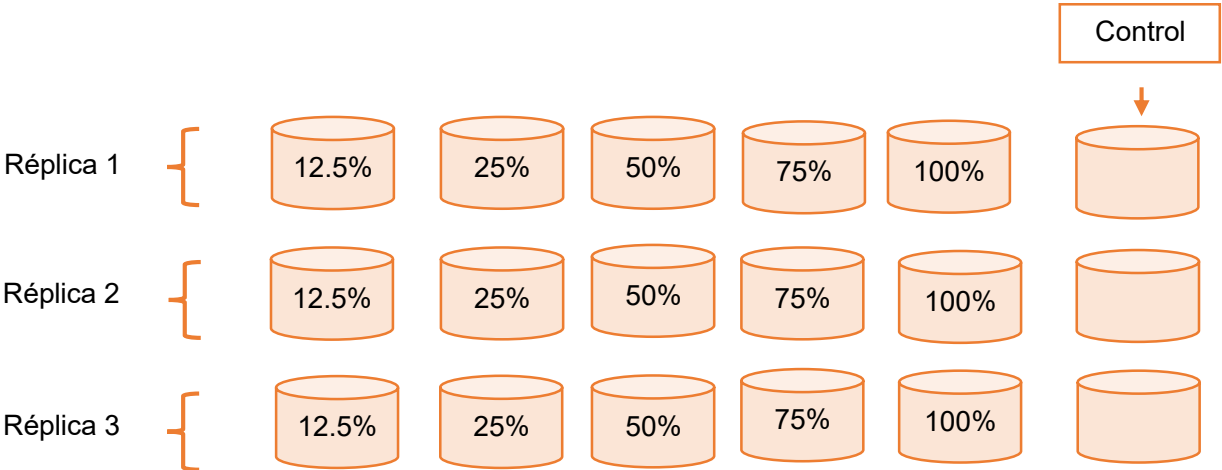




**Figura 21.** Esquematación de la cámara de bioensayos con el efluente CETMAR.



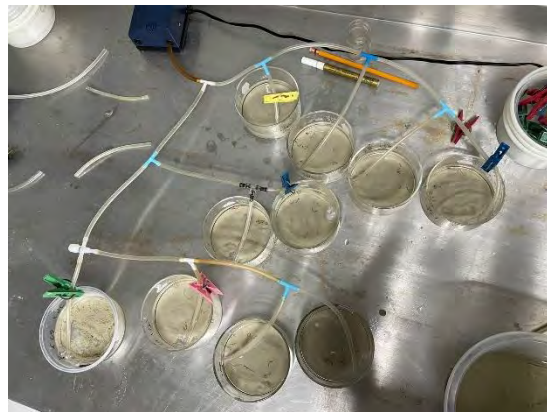
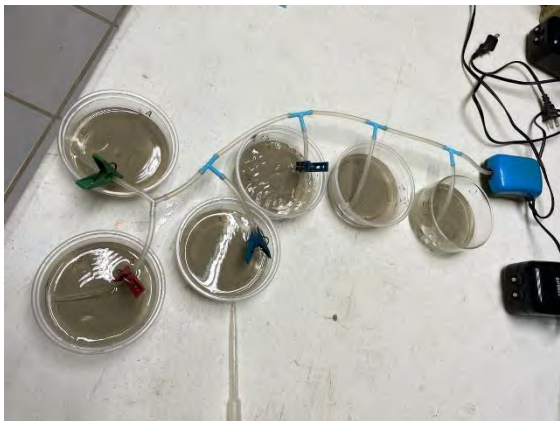
**Figura 22.** Esquematación de la cámara de bioensayos con el efluente de Proterritorio.



## Muestreo y bioensayos



**Figura 23.**Recolección y aclimatación de los organismos de *Capitella capitata*.



**Figura 27.** Bioensayos con efluentes utilizando la especie de *Capitella capitata*.





a)



b)



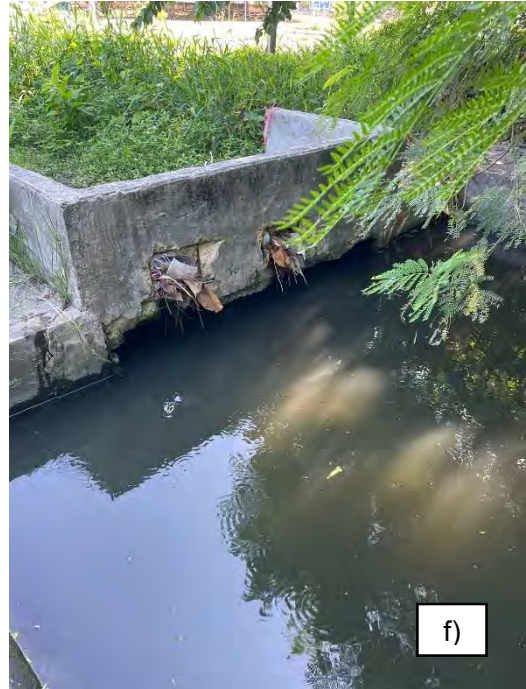
c)



d)

**Figura 24.** Efluentes a) Refugio de Aves, b) Obelisco, c) CETMAR, d) Proterritorio





**Figura 25.** Efluentes e) Chevrolet, f) Sam's, g) Dina, h) Muelle Fiscal