



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL  
MEDIA CL (50) DE DIEZ EFLUENTES QUE  
DESEMBOCAN EN LA ZONA CONURBADA DE LA BAHÍA  
DE CHETUMAL, QUINTANA ROO UTILIZANDO  
LAEONEREIS CULVERI COMO BIOINDICADOR**

**TESIS**

Para obtener el grado de  
**Ingeniero Ambiental**

**PRESENTA**

**IRVIN RICARDO NAH SONG**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

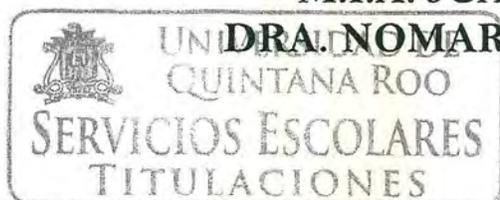
**ASESORES**

**M.C. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA**

**DRA. MARTHA ANGÉLICA GUTIÉRREZ AGUIRRE**

**M.I.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES**

**DRA. NOMAR ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA**



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2016



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL  
MEDIA CL (50) DE DIEZ EFLUENTES QUE  
DESEMBOCAN EN LA ZONA CONURBADA DE LA BAHÍA  
DE CHETUMAL QUINTANA ROO UTILIZANDO LA  
LAEONEREIS CULVERI COMO BIOINDICADOR

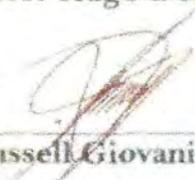
INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

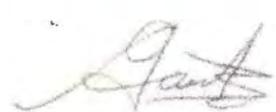
DIRECTOR:

  
Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

ASESOR:

  
M. C. Russell Giovanni Ue Peraza

ASESOR:

  
Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre



UNIVERSIDAD DE  
QUINTANA ROO  
SERVICIOS ESCOLARES  
TITULACIONES

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2016

# Dedicatorias

**Adiós** Por la fuerza que me dio para concluir este trabajo de tesis, y cada etapa de mi vida.

## **Mi madre**

### **Betty Guadalupe Nah Song**

Por el coraje, amor, paciencia, dedicación, ejemplo y ese apoyo incondicional que me ha dado en todas mi vida. Muchas gracias.

## **Mis abuelos**

Melesio Nah y Alejandra Song

“Por ser mi ejemplo de vida”

## **A los señores**

### **Gregorio Flores**

#### **Zenaida Martínez**

Por el a apoyo incondicional que me han brindado desde que los conocí. No existe ninguna palabra o frase para poder describir todo lo que han hecho por mí. Que solo puede decir muchísimas gracias de corazón.

A esa persona que me enseñó que es el amor, amistad y de más sentimientos, y que cada día a su lado, no lo cambiaría por nada.

**Te amo Veronica.**

## **Mis compañeros de la carrera**

A cada uno de mis compañeros de la carrera, Abel, Andrea, Andrés, Dahyn, Diana, Ginnel, Jair, Julio, Leysi, María Elisa, Martha, Misael, Omar, Patricia, Raúl, Ulises, Víctor no me queda más que agradecer por todos los momentos que pasamos juntos, en trabajos, practicas, salidas y más, ya que sin ellos no hubiese sido lo mismo.

**Muchas gracias a cada uno de ustedes.**

# Agradecimientos

Dr. **Víctor Hugo Delgado Blas** por el tiempo, así como a las enseñanzas y consejos brindados para la realización de este trabajo.

M.C. **Russell Giovanni Uc Peraza** por el tiempo, consejos y apoyo brindado a la realización de los resultados de este trabajo.

Dra. **Martha Angélica Gutiérrez Aguirre** por el tiempo, dedicación, consejos y apoyo brindado a la realización del presente trabajo.

M. I. A. **Ávila Reveles Juan Carlos**, Dr. **Canché Uuh José Alfonso**, Dr. **Carrión Jiménez José Manuel**, Dr. **Delgado Blas Víctor Hugo**, Biól. **Flores Castillo Laura Patricia**, Q. F. B. **González Bucio José Luis**, Ing. **Guevara Franco José Luis**, Dra. **Oropeza García Norma Angélica**, M. C. **Rivero Rodríguez José Martín**, profesores de la Universidad de Quintana Roo; por los conocimientos, erudiciones, y demás, que a lo largo de la carrera me instruyeron y formaron profesionalmente.

A la **Universidad De Quintana Roo** por acogerme 5 años de mi vida, por apoyarme con facilidad para la realización de los diferentes proyectos, por proporcionarme conocimientos que sean útiles a la sociedad.

# Índice general

Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de Anexos.....	viii
Resumen.....	1

## Capítulo I. Introducción

1. Introducción.....	2
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Planteamiento de problema.....	8
1.2.1. Objetivo general.....	8
1.2.2. Objetivos particulares.....	8
1.2.3. Preguntas de investigación.....	8
1.2.4. Hipótesis.....	8

## Capítulo II. Marco teórico

2.1. Aguas residuales.....	9
2.2. Ecotoxicología.....	12
2.3. Bioensayos.....	13
2.4. Organismo de prueba.....	13
2.5. Importancia ecológica de los poliquetos.....	14

### Capítulo III. Métodos y Materiales

3. Métodos y materiales.....	16
3.1.Recolección de los organismos de prueba.....	16
i.Método de recolecta.....	16
ii. Identificación de los organismos.....	16
3.2. Preparación de los bioensayos.....	17
3.2.1.    Aclimatación de los organismos de prueba.....	17
3.3. Ubicación de los efluentes a evaluados.....	17
3.3.1. Limpieza de material.....	21
3.3.2. Extracción de las muestras por efluente.....	20
3.4. Exposición al contaminante.....	20
3.5. Control del bioensayos.....	20
3.6. Realización de los bioensayos exploratorios.....	20
3.7. Realización de los bioensayos definitivos.....	21
3.7.1. Construcción del sistema de aireación de los bioensayos definitivos.....	21
3.8. Calculo de la concentración letal media $CL_{50}$ .....	21
3.9. Estimación del grado de toxicidad.....	22
3.10. Análisis estadístico.....	22

### Capítulo IV. Resultados

<b>4. Resultados.....</b>	<b>24</b>
4.1. Bioensayos exploratorios.....	24
4.2. Bioensayos definitivos.....	25
4.2.1. Dina.....	25
4.2.2. Chevrolet.....	26
4.2.3. Sam´s.....	27
4.2.4. Poder Judicial.....	28
4.2.5. Muelle Fiscal.....	29
4.2.6. Mega escultura.....	30
4.2.7. CETMAR.....	31
4.3. Comprobación general de la $CL_{50}$ .....	32

4.4. Grado de toxicidad por cada efluente.....	32
4.5. Análisis estadístico.....	33
<b>Capítulo V. Discusiones.....</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo VI. Conclusiones.....</b>	<b>43</b>
<b>Capítulo VII. Recomendaciones.....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo VIII. Literatura citada.....</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo IX. Anexos.....</b>	<b>52</b>

# Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de contaminantes fuente: Revista Ambientum.....	10
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas geográficas de los diez efluentes.....	18
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de toxicidad basada en Unidades de Toxicidad.....	22
<b>Tabla 4.</b> Mortalidad registrada en los bioensayos exploratorios por cada efluente.....	24
<b>Tabla 5.</b> Resultados de toxicidad del efluente Dina.....	25
<b>Tabla 6.</b> Resultados de toxicidad del efluente Chevrolet.....	26
<b>Tabla 7.</b> Resultados de toxicidad del efluente Sam's.....	27
<b>Tabla 8.</b> Resultados de toxicidad del efluente Poder Judicial.....	28
<b>Tabla 9.</b> Resultados de toxicidad del efluente Muelle Fiscal.....	29
<b>Tabla 10.</b> Resultados de toxicidad del efluente Mega escultura.....	30
<b>Tabla 11.</b> Resultados de toxicidad del efluente CETMAR.....	31
<b>Tabla 12.</b> Concentración letal media obtenida, con su límites inferiores y máximos por cada efluente.....	32
<b>Tabla 13.</b> Clasificación en unidades de toxicidad obtenida por cada efluente en <i>Laeonereis culveri</i> .....	32
<b>Tabla 14.</b> Estadística descriptiva de la variable dependiente.....	33
<b>Tabla 15.</b> Parámetros físico-químicos obtenidos durante los bioensayos definitivos.....	37

# Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Puntos de los drenajes activos en la Bahía de Chetumal. Mapa realizado con el Google Earth.....	19
<b>Figura 2.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Dina y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	25
<b>Figura 3.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Chevrolet y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	26
<b>Figura 4.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Sam's y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	27
<b>Figura 5.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Poder Judicial y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	28
<b>Figura 6.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Muelle Fiscal y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	29
<b>Figura 7.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Mega escultura y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	30
<b>Figura 8.</b> Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente CETMAR y estimación de la CL <sub>50</sub> a 96 h en <i>Laeonereis culveri</i> .....	31
<b>Figura 9.</b> Normalidad de la variable dependiente y elipse de confianza del 95 %.....	34
<b>Tabla 10.</b> Distribución normal de la variable dependiente clasificada por diferentes niveles de concentración.....	34
<b>Figura 11.</b> Distribución normal de la variable dependiente clasificada por efluente.....	35

**Figura 12.** Relación entre los siete efluentes respecto a la mortandad.....36

**Figura 13.** Relación general entre la concentración y la mortalidad en los siete efluentes...36

# Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Figuras de las baterías de los bioensayos exploratorios y definitivos.....	52
<b>Anexo 2.</b> Tablas de la mortandad y parámetros físico-químicos obtenidos de los bioensayos exploratorios y definitivos.....	61
<b>Anexo 3.</b> Figuras de los efluentes evaluados.....	77
<b>Anexo 4.</b> Figuras de los bioensayos exploratorios.....	79
<b>Anexo 5.</b> Figuras de los bioensayos definitivos.....	80
<b>Anexo 6.</b> Organismo utilizado en las pruebas ecotoxicológicas.....	82

## **Anexo 1. Figuras de las baterías de los bioensayos exploratorios y definitivos.**

<b>Figura 14.</b> Batería de bioensayos exploratorios.....	52
<b>Figura 15.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Dina) .....	54
<b>Figura 16.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Chevrolet).....	55
<b>Figura 17.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Sam´s).....	56
<b>Figura 18.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Poder Judicial).....	57
<b>Figura 19.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Muelle Fiscal).....	58
<b>Figura 20.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Mega escultura).....	59
<b>Figura 21.</b> Batería para los bioensayos definitivos (Efluente CETMAR).....	60

**Anexo 2. Tablas de la mortandad y Parámetros físico-químicos obtenidos de los bioensayos exploratorios y definitivos.**

<b>Tabla 16.</b> Mortalidad registrada en los bioensayos exploratorios con <i>Laeonereis culveri</i> con los diez efluentes a 96 h.....	61
<b>Tabla 17</b> Parámetros físico-químicos de los bioensayos exploratorios con <i>Laeonereis culveri</i> con los diez efluentes a 96 horas.....	62
<b>Tabla 18.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Dina” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	63
<b>Tabla 19.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Dina.....	64
<b>Tabla 20.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Chevrolet” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	65
<b>Tabla 21.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Chevrolet.....	66
<b>Tabla 22.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Sam’s” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	67
<b>Tabla.23.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Sam’s.....	68
<b>Tabla 24.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Poder judicial” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	69
<b>Tabla 25.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Poder Judicial.....	70
<b>Tabla 26.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Muelle fiscal” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	71
<b>Tabla 27.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Muelle Fiscal.....	72
<b>Tabla 28.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “Mega escultura” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 .....	73

<b>Tabla 29.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Mega escultura.....	74
<b>Tabla 30.</b> Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente “CETMAR” con <i>Laeonereis culveri</i> 96 h.....	75
<b>Tabla 31.</b> Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Mega escultura.....	76

### **Anexo 3. Figuras de los efluentes evaluados.**

<b>Figura 22.</b> a) Descarga de Sam´s, b) Descarga del Poder Judicial, c) Descarga del Obelisco, d) Descarga del Refugio de aves, e) Descarga de la Mega escultura f) Descarga del CETMA.....	77
<b>Figura 23.</b> Descarga de Proterritorio.....	78

### **Anexo 4. Figuras de los bioensayos exploratorios.**

<b>Figura 24</b> a) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Poder Judicial, b) Efluente Sam´s, c) Efluente Muelle Fiscal, d) Efluente Dina e) Efluente Chevrolet, f) Efluente Dina y el grupo control.....	79
---	----

### **Anexo 5. Figuras de los bioensayos definitivos.**

<b>Figura 25.</b> a) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam´s, Chevrolet y Poder Judicial al inicio, b) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam´s, Chevrolet y Poder Judicial a las 24 horas, c)Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam´s, Chevrolet y Poder Judicial a las 72 horas, d) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam´s, Chevrolet y Poder Judicial al final de las pruebas, e) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Muelle Fiscal y Mega escultura al inicio, f) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Muelle Fiscal y Mega escultura las 24 horas.....	80
<b>Figura 26.</b> a) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Muelle Fiscal y Mega escultura las 72 horas, b) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente CETMAR al inicio de las pruebas.....	81

### **Anexo 6. Organismo utilizado en las pruebas ecotoxicológicas.**

Organismo utilizado en las pruebas ecotoxicológicas.....	82
--	----

# Resumen

En la Bahía de Chetumal desembocan aguas residuales (clandestinas, municipales y pluviales) provenientes de diferentes sectores: doméstico, comercial, etcétera. El contenido de estas aguas se puede considerar como una mezcla compleja de sustancias químicas tóxicas que pueden causar daño a las especies que cohabitan en la bahía. El objetivo del presente trabajo fue determinar la toxicidad de diez efluentes que desembocan en la bahía de Chetumal, utilizando *Laeonereis culveri*. Y calcular el grado de toxicidad por cada efluente.

La recolección de los organismos de prueba se realizó en la Bahía de Chetumal, en una zona alejada de los efluentes. Posteriormente en el laboratorio se seleccionaron, identificaron y aclimataron por 48 horas previos a los bioensayos exploratorios y definitivos. Se realizaron bioensayos exploratorios de diez efluentes seleccionados (Dina, Chevrolet, Sam's, Poder judicial, Muelle fiscal, Obelisco, Refugio de aves, Mega escultura, CETMAR y Proterritorio), posteriormente se determinó que siete de los diez efluentes presentaron una mortandad considerable.

Para la determinación de la  $CL_{50}$  de los efluentes se utilizó el método Probit con un intervalo de confianza de 95 %. Los resultados obtenidos de los bioensayos definitivos mostraron que *Laeonereis culveri* al ser expuesto a los siete efluentes con mayor mortalidad, demostró que dos efluentes presentaron una elevada toxicidad, Muelle fiscal 17.05 % y CETMAR 19.88 %. Con respecto a la toxicidad de estos dos efluentes y de acuerdo a la clasificación en Unidades de Toxicidad, se obtuvo que son muy tóxicos. Al aplicar el análisis ANOVA se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a la toxicidad de los siete efluentes y a los diferentes niveles de diluciones utilizados sobre *Laeonereis culveri*.

**Palabras claves:** Toxicidad, efluentes, bioensayos, poliquetos, Bahía de Chetumal.



## Capítulo I

# INTRODUCCIÓN

# 1. Introducción

En la actualidad la contaminación de los ecosistemas acuáticos se ha incrementado de manera alarmante debido a las descargas de aguas residuales no tratadas de origen urbano e industrial. Las descargas de las aguas residuales en el medio acuático implican una gran cantidad y diversidad de productos químicos, muchos de los cuales son desconocidos. Estas sustancias se pueden mezclar entre ellos, aumentando o disminuyendo el efecto tóxico y generar un impacto negativo en la estructura y funcionamiento del ecosistema natural (Bohórquez-Echeverry *et al.*, 2012).

Comúnmente las ciudades o municipios descargan sus aguas residuales (mezclas complejas y a menudo contienen sustancias poco solubles, volátiles, inestables, coloreadas y/o a veces partículas coloidales en suspensión) sin tratamiento previo al cuerpo de agua más cercano y prácticamente se dan insignificantes atenciones a las consecuencias ambientales, principalmente por la falta de recursos económicos, como también por falta de comprensión. La contaminación de los cuerpos de agua está relacionada con los vertimientos de origen doméstico, materia orgánica, detergentes, hidrocarburos, metales pesados, plaguicidas. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos (Chalarca-Rodríguez *et al.*, 2007).

Los estudios ecotoxicológicos constituyen uno de los elementos de juicio más adecuados para la evaluación del riesgo potencial producido por contaminantes presentes en el ambiente. Para evaluar los efectos biológicos de sustancias tóxicas descargadas al ambiente acuático se han utilizado bioensayos de laboratorio. Estos son una herramienta útil para monitorear la calidad del agua de mar y dar alerta temprana sobre la descarga de contaminantes potencialmente dañinos (Espinoza, 2002).

En los últimos treinta años, se han utilizado ensayos de toxicidad con organismos de aguas continentales, tanto en condiciones de laboratorio, como de campo, con el objeto de evaluar y reconocer los efectos de xenobióticos sobre la biota acuática, ensayos estandarizados por organizaciones internacionales de regulación y control tales como la CEE (Comunidad Económica Europea), ASTM (American Society of Technicals and Materials), ISO (The International Organization for Standarization), WHO (Word Health Organization), USEPA

(United States Environmental Protection Agency) y Cetesb (Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil), y otros, que las utilizan en la evaluación de la carga tóxica de vertimientos al medio acuático (Escobar-Malaver, 2009).

El parámetro toxicológico más empleado para evaluar el impacto ambiental de una sustancia es la toxicidad aguda (Peña *et al.*, 2001); mediante bioensayos ecotoxicológicos que determinan la concentración de efluentes o aguas receptoras que producen un efecto desfavorable en un organismo de prueba durante un tiempo de exposición relativamente corto (24 a 96 horas), en este tipo de prueba la respuesta es la mortalidad. Los resultados se expresan en valores de Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) que es la concentración tóxica que causa la muerte al 50% de organismos de prueba (Sánchez, 2001).

Los servicios municipales e industriales generan cerca de 12.9 km<sup>3</sup>/año de aguas residuales que son vertidas en la mayoría de los casos a los cuerpos receptores, y solo aproximadamente el 13% (1.67 km<sup>3</sup>/año) reciben tratamiento (CNA, 2000). La carga de contaminantes que se originan por las aguas residuales en Chetumal proviene principalmente de las actividades domésticas y su impacto sobre la bahía es evidente en la costa cercana a la Ciudad (Ortiz-Hernández *et al.*, 1997 y 1999; Álvarez-Legorreta 2007). Las actividades agrícolas realizadas en la rivera del río Hondo pueden ser una fuente difusa de contaminación por productos agroquímicos como abonos y plaguicidas organoclorados, y estos a su vez pueden desembocar en la bahía de Chetumal (Ortiz-Hernández *et al.*, 1997; Álvarez-Legorreta 2007).

Desde su fundación la Ciudad de Chetumal ha padecido de una planeación de un sistema deficiente de alcantarillado para canalizar sus aguas residuales; contando únicamente con el uso de fosas sépticas con deficiencias técnicas que provocan la infiltración de las aguas de desechos al manto freático. Otra práctica común es la conexión clandestina domiciliaria a la canalización que existe a través de la red pluvial que se distribuye a todo lo largo de la zona urbana y desemboca a las orillas de la bahía (Ortiz-Hernández *et al.*, 1995). Estas descargas residuales que son vertidas directamente a la bahía, mediante los efluentes contienen una gran diversidad de sustancias químicas y biológicas (coliformes fecales, nutrientes, nitritos, nitratos y fosforo) (Flores-Rodríguez *et al.*, 2000). Además, por la filtración de

aguas contaminadas por las fosas sépticas urbanas mal diseñadas y los lixiviados de los residuos sólidos inadecuadamente tratados pueden ser las principales fuentes de contaminación de la bahía de Chetumal, ya que no reciben tratamiento alguno y posteriormente son vertidas hacia la bahía (Ortiz-Hernández *et al.*, 2009).

En la actualidad se carece de estudios relacionados a la toxicidad de los efluentes que desembocan en la bahía de Chetumal y su posible impacto. Actualmente se han utilizado dos especies de poliquetos *Laeonereis culveri* y *Capitella sp C* de la bahía de Chetumal, para evaluar algunas pruebas de toxicidad (Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012; 2015); por lo tanto, en el presente estudio se empleará a *Laeonereis culveri* para evaluar la toxicidad de dichos efluentes.

## 1.1. Antecedentes

Carballo *et al.*, (2002) valorizaron las aguas residuales mediante procedimientos analíticos y biológicos, realizando estudios de toxicidad para estudiar la detección de los microcontaminantes orgánicos y en predecir los efectos potenciales presentes en los efluentes de once depuradoras urbanas; de las cuales siete de las once depuradoras registraron toxicidad aguda, lo que significa que el riesgo potencial de estos efluentes sobre el medio receptor, a corto plazo, es elevado y en tres de ellas se detecta toxicidad crónica y cuatro de los efluentes muestran efectos de estrogenicidad. En ninguna de las muestras se detecta mutagenicidad.

Villamarin-Jiménez *et al.*, (2013) realizaron pruebas de toxicidad en dos efluentes de ALCO Ltda. (El efluente Cospique que descarga desechos industriales y el efluente Casimiro donde se vierten aguas de enfriamiento), para analizar el efecto en los peces estuarinos *Gambusia affinis* en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 hrs de exposición, con sistemas estáticos y sin recambio. El efluente Cospique es el de mayor letalidad, mostrando el efecto inmediato de los mismos y los efluentes de ALCO Ltda mostraron que a mayor concentración hay mayor mortalidad y menor tiempo letal medio. Los efluentes industriales estudiados son considerados inestables por la formación de complejos químicos resultado de sus compuestos.

Ecobar-Malaver (2009) implemento un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando un microcrustáceo nativo del área de la sabana de Bogotá, la *Daphnia pulex*, para determinar el índice de toxicidad de muestras ambientales y obtener una clasificación de efluentes industriales que permita fortalecer los mecanismos de calidad y control ambiental. Una vez obtenida la toxicidad de los efluentes de los procesos: curtido con cromo ( $CL_{50-48}$  de 0,643%), proceso de ribera ( $CL_{50-48}$  de 0,038%), planta clorosoda ( $CL_{50-48}$  de 0,033%), patio de cenizas ( $CL_{50-48}$  de 68,461%) y proceso de galvanoplastia ( $CL_{50-48}$  de 0,060%), se clasificaron las industrias de acuerdo con su carga tóxica en: despreciable (industria de curtiembre), moderada (industria termoeléctrica) y considerable (industrias inorgánica y galvanoplástica).

En México la norma mexicana NMX-AA-087-SCFI-2010 estandariza el método para realizar análisis de agua (evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Crustacea -Cladocera), la cual es un ejemplo de la implementación de las pruebas ecotoxicológicas en México, ya que no sólo bastan las pruebas físico-químicas; las cuales son las más recurrentes para la calidad del agua, pero en lo que respecta a las pruebas de ecotoxicología, estas son las únicas que pueden demostrar que existe un contaminante la cual está perjudicando a los organismos que habitan un cuerpo de agua y esto, puede ser considerado como una alerta temprana de contaminación.

En la bahía de Chetumal, Quintana Roo se han realizado diversas investigaciones relacionadas con la diversidad biológica, calidad del agua, metales pesados, entre otras, pero ninguno sobre la evaluación de la toxicidad de los efluentes que desembocan en la bahía.

Sin embargo, existen estudios toxicológicos con organismos de importancia ecológica de la bahía de Chetumal, como el de Uc-Peraza y Delgado-Blas (2012) determinaron experimentalmente la toxicidad de cuatro formulaciones de detergentes domésticos biodegradables (Roma®, Foca®, Puro-Sol® y Blanca Nieves®), empleando a *Laeonereis culveri*. Los resultados obtenidos mostraron que *Laeonereis culveri* al ser expuesto a los detergentes, presentó el siguiente orden de sensibilidad, de acuerdo con la CL<sub>50</sub>-48 h: Foca® (fórmula: 59.56; LAS: 12.88 en ppm) > Blanca Nieves® (fórmula: 70.79; LAS: 13.03 en ppm) > Roma® (fórmula: 89.12; LAS: 13.48 en ppm) > Puro-Sol® (fórmula: 91.83; LAS: 14.12 en ppm); y el cociente de riesgo (CR) en todos los casos fue mayor a 1, lo que indica que existe cierta probabilidad de que los detergentes biodegradables ocasionen daño a las especies que viven en el sedimento y al ecosistema en general. También, Uc-Peraza y Delgado-Blas (2012) propusieron a *Laeonereis culveri* como herramienta para la evaluación de riesgos ambientales por detergentes domésticos.

Otro trabajo con *L. culveri* es el de Chin Yu (2013) quien determinó la toxicidad del Bipirilo en *Laeonereis culveri*, específicamente del plaguicida Gramoxone® y analizaron el

riesgo que puede afectar a los poliquetos dentro del ecosistema. La toxicidad aguda durante 48 hrs mediante el método Probit, determinó que la  $CL_{50}$  es de 19.23 mg/l., y el riesgo ambiental es de 5.2 U.T. lo que indica que es altamente tóxico y podría ocasionar daño a los humanos y a las áreas agrícolas, también, el cociente de riesgo (CR) fue superior a 1, lo cual indica que existe una posibilidad que el plaguicida ocasione daños a los organismos que habitan los sedimentos y al ecosistema entero.

Uc-Peraza y Delgado-Blas (2015) determinaron la toxicidad aguda y el riesgo de tres detergentes comerciales utilizando el poliqueto *Capitella sp. C* de la bahía de Chetumal, mediante bioensayos estáticos sin recambio de aguas a 48 horas de duración. Se obtuvo como resultado que la formulación de los detergentes y la sustancia activa (LAS) mostraron valores de  $CL_{50}$  entre 70,79 y 147,91 ppm y 15,48 y 22,38 ppm, respectivamente, a las 48 hrs. El detergente más tóxico fue el FOCA, seguido por BLANCA NIEVES y, finalmente, ROMA. Se menciona que la variación en la toxicidad de los tres detergentes podría haber sido causado tanto por las diferencias en las concentraciones relativas de tensioactivo aniónico LAS contenida en cada formulación y la presencia de otros ingredientes (enzimas, silicato de sodio, tripolifosfato de sodio, gradas y perfumes) que también puede aumentar la toxicidad de la formulación. El análisis de correlación reveló que el porcentaje de mortalidad de *Capitella sp. C* aumentó con el incremento en las concentraciones del detergente durante el período de exposición de 48 hrs. El cociente de riesgo fue mayor que uno para los tres detergentes evaluados, lo que indica que existe un alto riesgo que afecten negativamente a la biota acuática, en particular a los que habitan en el sedimento tales como la especie de prueba.

## **1.2. Planteamiento de problema**

### **1.2.1. Justificación**

La bahía de Chetumal es un gran atractivo turístico, recreativo y social en el que converge gran cantidad de personas; como también es un importante reservorio de fauna y flora representativa del estado de Quintana Roo. Sin embargo, en esta bahía existen descargas de aguas residuales y clandestina, que pueden causar un deterioro del ecosistema acuático y por ende daños irreparables a la biota, por lo que; evaluar los efluentes que llegan a la bahía puede ser una forma de alerta temprana a un posible daño. Para determinar la toxicidad de los efluentes se utilizan los bioensayos, los cuales, representa una herramienta para determinar la toxicidad de sustancias, el cual, se lleva a cabo con ayuda de organismos de prueba. De acuerdo a la literatura los poliquetos *Laeonereis culveri* se pueden utilizar como organismos de prueba ya que son sensibles, endémicos, representativos y con una amplia distribución en la bahía de Chetumal.

### **1.2.2. Objetivo General**

- Determinar la toxicidad de los efluentes que llegan a la bahía de Chetumal, Quintana Roo.

### **1.2.3. Objetivos particulares**

- Determinar la  $CL_{50}$ , empleando a *Laeonereis culveri* como organismos de prueba.
- Determinar cuáles son los efluentes que poseen mayor toxicidad.

### **1.2.4. Preguntas de investigación**

- ¿En cuál descarga municipal se registrará una mayor toxicidad?
- ¿Cuál será la  $CL_{50}$  para las descargar municipales activas?

### **1.2.5. Hipótesis**

- La descarga del muelle fiscal registrará la mayor toxicidad.



## Capítulo II

# MARCO TEÓRICO

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son de composición variada o compleja provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (Moscoso- Calle, 2014).

De este modo, se puede hablar de aguas residuales urbanas, industriales y agropecuarias. Las primeras se subdividen en aguas domésticas y urbanas, las segundas en aguas de refrigeración directa o indirecta, aguas de proceso: lavados, transporte, etc., y aguas de drenaje potencialmente contaminadas o limpias, y, las terceras en purines y lixiviados de estercoleros. En concreto, las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje. Los líquidos residuales derivan directamente de la fabricación de todo tipo de productos. Consisten en disoluciones acuosas a distinta concentración de los productos empleados en el proceso productivo. Es imprescindible el tratamiento de esta agua previo a su vertido debido al poder contaminante que tienen, variable según concentraciones de los agentes contaminantes (Revista ambientum, 2002).

Las aguas residuales de proceso provienen del empleo del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. La contaminación de la misma proviene del contacto con los productos de fabricación o los líquidos residuales. Habitualmente, la concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a los líquidos residuales, pero su caudal puede llegar a ser cincuenta veces superior. Las aguas de drenaje proceden principalmente de las pluviales. Su contaminación, si existe es muy baja y procede de zonas de almacenaje de productos al aire libre, derrames de productos en viales y zonas a la intemperie, rodadas de vehículos, etc. Según la actividad de la industria, su tratamiento deberá ser tenido en cuenta. En la tabla 1 se mencionan las sustancias que se pueden encontrar en efluentes y su relación de acuerdo al proceso en que las aguas fueron utilizadas.

**Tabla 1.** Clasificación de contaminantes fuente: Revista Ambientum.

Relación I	Compuestos organohalogenados Compuestos organofosforados Compuestos organoestannicos Sustancias con poder cancerígeno en el medio acuático Mercurio y compuestos de mercurio Cadmio y compuestos de cadmio Aceites minerales e hidrocarburos persistentes Sustancias sintéticas persistentes
Relación II	Sustancias de la Relación I para las que no se han fijado límites en el art. 245 del R.D. 849/1986  Los siguientes metaloides, metales y sus componentes; Zn, Cu, Ni, Pb, Se, As, Sb, Mo, Ti, Sn, Ba, Be, Bo, U, co, Ta, Ti, Ag.  Biocidas y sus derivados no incluidos en la relación I. Sustancias con efectos perjudiciales para el sabor y/o el olor de los productos de consumo humano. Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes. Compuestos inorgánicos de fosforo y fosforo elemental. Aceites minerales e hidrocarburos no persistentes. Cianuros, fluoruros. Sustancias que disminuyen la concentración de oxígeno, específicamente amoniaco y nitritos.

Las industrias se clasifican en cinco grupos según sus vertidos:

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos: papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios, bebidas y lavanderías.
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: refinerías y petroquímicas, coquerías, químicas y textiles.
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.
- Industrias con efluentes con materias en suspensión: lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continúa.
- Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y centrales nucleares.

El vertido de aguas residuales, según el proceso productivo, será continuo, con una entrada y salida continua de aguas, procesos de transporte, refrigeración, etc., o discontinuo, de menor caudal pero mucho más contaminado. Cada tipo de actividad industrial, según el proceso, vierte un agua residual caracterizada por una contaminación tipo determinada. De modo general se conocen los parámetros característicos de cada una de ellas, pero es preciso su determinación detallada para valorar su tratamiento y posterior incidencia en el medio receptor. En resumen, los principales contaminantes, según el tipo de industria son:

- ❖ Industria lechera: materia orgánica.
- ❖ Industria petroquímica: materia orgánica, aceites, fenoles, amoníaco y sulfuros.
- ❖ Industria del curtido: alcalinidad, materia orgánica, materia en suspensión, materia de cantable, sulfuros y cromo.
- ❖ Industria papelera: color, materia orgánica, materia en suspensión y materia de cantable, pH y AOX-EOX.
- ❖ Industrias de lavado de mineral: productos tóxicos empleados, sólidos en suspensión y sedimentables.
- ❖ Industria de acabado de metales: pH, cianuros y metales pesados.
- ❖ Industria siderúrgica: materia orgánica, fenoles, alquitranes, cianuros libres y complejos, sulfuros, materias en suspensión, hierro, aceites, grasas y pH.
- ❖ Industria de laminación en caliente: aceites, grasas y sólidos en suspensión.
- ❖ Plantas de ácido sulfúrico: ácidos, sólidos sedimentables, arsénico, selenio y mercurio.

Por otro lado, existen otros contaminantes, denominados contaminantes específicos, los cuales, proceden de industrias muy concretas y, normalmente, punteras, y se caracterizan por ser altamente contaminantes a concentraciones de partes por billón (ppb). En este grupo se encuentran agentes tensoactivos, pesticidas, derivados halogenados o fosforados de hidrocarburos, compuestos orgánicos específicos, sales metálicas, compuestos eutrofizantes, etc.

Es muy difícil establecer parámetros medios de concentraciones de agentes contaminantes en las distintas industrias, ya que, incluso en el mismo sector, existen diferencias entre dos instalaciones. Con el objetivo de generalizar la carga contaminante contenida en las aguas residuales, por lo menos en lo que respecta a la concentración de materia orgánica, en previsión a tratamientos en plantas depuradoras, se recurre al concepto de población equivalente, determinado por la relación entre la DBO del agua residual y la que aporta un habitante por día; aproximadamente 60 gr. Todos los parámetros mencionados sirven básicamente para comenzar a clasificar y caracterizar las aguas procedentes de cualquier industria. A partir de aquí, la legislación obliga a su tratamiento previo al vertido con el objeto de reducir al mínimo los impactos negativos sobre los cauces que soporten tales vertidos (Revista ambientum, 2002).

## **2.2.Ecotoxicología**

La ecotoxicología estudia y analiza los efectos de agentes químicos y físicos sobre organismos vivos, con particular atención a poblaciones y comunidades de ecosistemas definidos (Butler, 1978). La ecotoxicología aplicada tiene como objetivo el desarrollo de protocolos de ensayo para ser utilizados como herramientas de predicción tempranas que permitan definir umbrales permisibles, con niveles de incertidumbre aceptables, y sirvan de guía a las entidades reguladores para la toma de decisiones (Day, *et al.*, 1988)

La ecotoxicología tiene como objetivo el desarrollo de protocolos de ensayo para ser utilizados como herramientas de predicción tempranas que permitan definir umbrales permisibles. La evaluación de riesgo ecológico es un proceso de asignación de magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de actividades antrópicas y catástrofes naturales; recurre tanto a métodos predictivos para la evaluación de la exposición. Como de los efectos de sustancias tóxicas a distintos niveles de organización y escala trófica (López-Martínez, 2009). Los ensayos de toxicidad son los ensayos empleados para reconocer y evaluar los efectos de los contaminantes sobre la biota. En los bioensayos se usa un tejido vivo, organismo, o grupo de organismos, como reactivo para evaluar los efectos de cualquier sustancia fisiológicamente activa, bajo condiciones experimentales específicas y controladas estos efectos pueden ser tanto de inhibición como de magnificación, evaluados por la relación de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación,

multiplicación, cambios morfológicos, fisiológicos o histológicos (López-Martínez, 2009).

### **2.3. Bioensayos**

Los bioensayos, son definidos como el método utilizado para evaluar la potencia relativa de un agente tóxico (químico o no) sobre un organismo vivo, a través de la comparación de ese agente con el efecto de una solución patrón o estándar. La prueba de toxicidad corresponde al método utilizado para detectar y evaluar la capacidad de un agente dado para producir efectos tóxicos sobre los organismos vivos; su objetivo primario, además de obtener datos para determinar los efectos sobre los sistemas biológicos, es caracterizar la relación dosis-respuesta del agente (Escobar-Malaver, 2009).

La determinación de la Concentración Letal Media ( $CL_{50}$ ) indica el nivel de toxicidad aguda de diferentes contaminantes y esto se puede realizar con ayuda de organismos de prueba (bioensayos), los cuales por sus características (ser sensible, de gran abundancia, tener información de su comportamiento) pueden ser bioindicadores de contaminación. Un organismo de prueba son los poliquetos, que, por su gran abundancia y su distribución geográfica; se considera un organismo capaz de ayudar a evaluar la contaminación que existe en la bahía.

### **2.4. Organismo de prueba**

Nereididae es uno de la familia de poliquetos más importante debido a su diversidad y abundancia en casi todos los fondos marinos. Además, algunas especies son de importancia económica y pueden ser mantenidos en el laboratorio con bastante facilidad (González-Escalante, 2003). Algunas especies de la familia de organismos marinos son capaces de vivir en muy variables condiciones salinas y otras especies pueden emplearse como indicadores ambientales de calidad de agua (Wu *et al.*, 1985). Los poliquetos son un componente importante, a menudo predominante de la biota marina y estuarina. En ambientes béticos bajo las mareas, comprenden entre el 30 y el 75 % de las especies e individuos macroinvertebrados. Incluyen una variedad de tipos de alimentación, siendo la mayoría alimentadores ciliares o de detritos. Los poliquetos de alimentación de depósitos afectan los sedimentos superficiales con sus hábitos excavadores e irrigantes. Son un alimento importante para caracoles, crustáceos grandes, peces y pájaros. Muchas especies

tienen ciclos vitales cortos (APHA, 1992).

## **2.5.Importancia ecológica de los poliquetos**

Los poliquetos están representados en diferentes hábitats, áreas geográficas y en todas las profundidades. Muestran una gran diversidad de estrategias reproductivas y ciclos de vida que les da una gran capacidad de adaptación. Su estudio es fundamental ya que la mayoría de las especies marinas son bénticas (viven en el fondo) y habitan sedimentos que cubren la mayoría del fondo oceánico. Los sedimentos, por lo tanto, constituyen el más grande ecosistema en nuestro planeta en términos de cobertura espacial. Son un grupo esencialmente marino y estuarino, muy pocos habitan en agua dulce y ambientes terrestres húmedos.

Forman parte del ambiente pelágicos (por lo general viven en el agua cuando son larvas), posteriormente forman parte de los bentos. La mayoría tienen vida libre, algunos son parásitos y otros son comensales de erizos y pepinos de mar, crinoideos y crustáceos. En los sedimentos constituyen el mayor componente en términos de número de especies e individuos. En algunas zonas geográficas alcanzan diversidades sorprendentes; por ejemplo, en el estrecho de Bass (Australia) se encontraron 800 especies en sólo 10 metros cuadrados de sedimento. En arrecifes coralinos alcanzan densidades de 49 mil poliquetos por metro cuadrado.

Debido a su abundancia, patrones de vida y formas de alimentación, los poliquetos juegan un papel muy importante ya que reciclan gran parte de la materia orgánica de la zona litoral. Además, modifican el fondo marino, la concentración de gases disueltos, la mezcla del agua intersticial, la consistencia del sedimento y la dinámica de los contaminantes. Estos animales son útiles para estudiar el efecto de los contaminantes en las comunidades marinas. Al ser sedentarios o tener relativamente poca movilidad permiten evaluar diversos grados de perturbación y contaminación del fondo. Algunas especies de las familias Capitellidae, Spionidae y Cirratulidae se reconocen como indicadores de contaminación orgánica. Ciertos poliquetos son de los primeros invertebrados en colonizar zonas perturbadas; funcionan como especies pioneras. Parte de su importancia radica en que ocupan varios niveles en las cadenas alimenticias. como presas o depredadores de diversos animales.

Constituyen una fuente de alimento importante para diversos organismos que habitan el fondo y la masa de agua y presentan una elevada productividad. Los poliquetos depredadores alteran la composición y estructura de las comunidades de fondos blandos. Los sedimentívoros (se alimentan de sedimento) producen la bioturbación; es el caso de los cirratúlidos y maldánidos que transportan sedimento varios centímetros debajo de la superficie del fondo, cambiando las características físicas y químicas de los mismos. Otros poliquetos son responsables de la bioerosión de sustratos coralinos al perforarlos y destruirlos (ECOSUR, 2003).



## Capítulo III

# MÉTODOS Y MATERIALES

## 3. Métodos y materiales

Se colectaron muestras de agua de los diferentes efluentes que desembocan en la Bahía de Chetumal con el propósito de realizar pruebas de toxicidad con *Laeonereis culveri*, también se recolectó sedimento y agua de la bahía para aclimatarlos, y posteriormente para su utilización en los bioensayos.

En el estudio de la distribución espacial y temporal de poliquetos (Polychaeta: Annelida) de la bahía de Chetumal Quintana Roo (Delgado-Blas *et al.*, 2011), nos señala cuáles son los sitios con mayor abundancia de *Laeonereis culveri* para utilizarlos como organismos de prueba, por lo que se estableció que el mejor lugar para recolectar los organismos es de acuerdo a las siguientes coordenadas: 18°31'39.07" N y 88°15' 57.52" O, debido que es una zona libre de descargas residuales u otro tipo de contaminante. De igual forma se midieron los parámetros físico-químicos (salinidad, pH, temperatura y oxígeno disuelto) al momento de la colectar a los organismos en el campo, con el fin de mantener los en condiciones más semejantes a su hábitat durante los bioensayos.

### 3.1. Recolección de los organismos de prueba.

#### i. Método de recolecta

Los organismos de prueba *Laeonereis culveri* fueron recolectados con ayuda de un nucleador de PVC de 11 cm de diámetro y 25 cm de largo, la muestra se tamizó con dos aberturas de malla, uno de 1 mm y el otro de 0.5 mm. Para poder manipular fácilmente y evitar la fragmentación de los organismos se utilizaron pipetas de plástico de 3ml de capacidad de succión y cada organismo se colocó en un vial con agua del sitio de muestreo, con la finalidad de que no se contraigan los organismos y evitar estrés a los organismos (Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012), los sedimentos se recolectaron con un nucleador y se transportaron en bolsas de plástico sellados.

#### ii. Identificación de los organismos

En el laboratorio y con la ayuda de un estereoscopio se identificaron los organismos que pertenecieran a la familia Nereididae de acuerdo a las claves de (González-Escalante y Salazar-Vallejo, 2003). Se seleccionaron los organismos adultos de *Laeonereis culveri* con un tamaño entre 15 a 20 mm aproximadamente y de igual manera se descartó a los

organismos que presentaran algún daño, fragmentación, con coloración pálida o los que presentaban poco movimiento (Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012).

### **3.2.Preparación del bioensayo**

Se armó la batería de bioensayos para cada efluente el cual consistía de treinta cristalizadores, bombas de aireación para pecera, tubos de silicón, pinzar y disipadores de aire. Todo esto para tener las condiciones más semejantes a su hábitat natural y no presente estrés (pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto).

#### **3.2.1. Aclimatación de los organismos de prueba**

Con los organismos identificados se colocaron en peceras (con capacidad de 3 litros) con agua de la bahía libre de contaminantes (2.5 litros), aireación y sedimento (una pequeña capa de 5 mmm para que los organismos se resguardo (UC-Peraza y Delgado-Blas 2012)). Todo esto a condiciones lo más semejante a su hábitat natural (salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto) durante 48 horas, para su posterior uso en los bioensayos.

### **3.3.Ubicación de los efluentes a evaluados**

Se realizó una salida de reconocimiento con el fin de identificar la posición geográfica de los efluentes que existen en la zona conurbada de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. Una vez realizado se identificó que la bahía posee diez efluentes permanentes. En la tabla 2 se encontrarán las coordenadas y los nombres asignados a los diez efluentes que se encontraron en la zona conurbada de la bahía. Se les asignó con un nombre de acuerdo a las inmediaciones cercanas de algún sitio conocido para poder tener una referencia para cada punto, y los efluentes son Chevrolet, Sam's, Poder judicial y CETMAR; por lo que ninguna de estas es directamente responsable de algún efluente.

**Tabla 2.** Coordenadas geográficas de los diez efluentes.

Efluente	Coordenadas
<i>Dina</i>	<i>18° 29' 3.07" N, 88° 18' 55.32" O</i>
<i>Chevrolet</i>	<i>18° 29' 50.70" N, 88° 18' 38.21" O</i>
<i>Sam's</i>	<i>18° 29' 39.20 N, 88° 18' 21.70 O</i>
<i>Poder Judicial</i>	<i>18° 29' 35.48" N, 88° 18' 4.04" O</i>
<i>Muelle Fiscal</i>	<i>18° 29' 34.72"N, 88° 17' 54.95" O</i>
<i>Obelisco</i>	<i>18° 29' 32.64"N, 88° 17' 51.45" O</i>
<i>Refugio de aves</i>	<i>18° 30' 1.04" N, 88° 17' 1.90" O</i>
<i>Mega escultura</i>	<i>18° 30' 9.06"N, 88° 16' 55.60" O</i>
<i>CETMAR</i>	<i>18° 30' 50.94"N, 88° 16' 31.38" O</i>
<i>Proterritorio</i>	<i>18° 31' 41.51" N, 88° 15' 58.63" O</i>

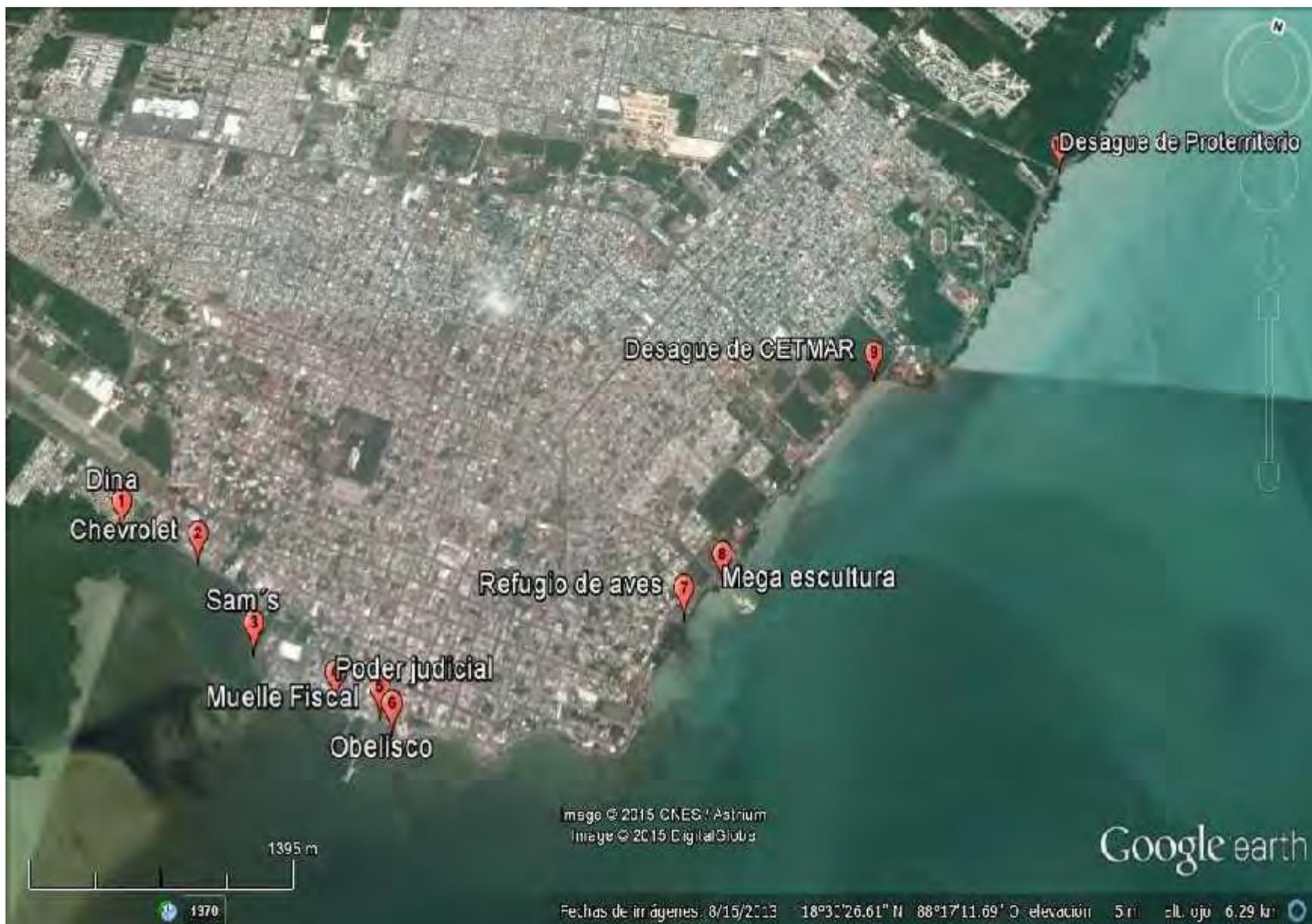


Figura 1. Puntos de los drenajes activos en la Bahía de Chetumal. Mapa realizado con el Google Earth.

### **3.3.1. Limpieza de material**

Para la realización de la recolección, bioensayos exploratorios y definitivos, todos los materiales que se utilizaron fueron previamente lavados para su utilización cada uno los trabajos realizados, con el fin de eliminar impurezas e bacterias que puedan causar una alteración a los bioensayos.

### **3.3.2. Extracción de las muestras por cada efluente**

Por cada efluente, se recolectó 3 L de agua directamente de la desembocadura; lo cual se llevó a cabo con ayuda de una botella de niskin (de 1,5 litros) posteriormente, la muestra se vació a un vaso precipitado para llenar la botella de plástico con capacidad de 3 litros (esto se realizó para cada uno de los diez efluentes) se cerró y se colocó en un contenedor para su posterior transportación al laboratorio. De igual manera a cada botella se le adhirió una etiqueta de identificación (con el nombre predeterminado de cada efluente).

### **3.4. Exposición al contaminante**

Una vez que los organismos se aclimataron, se procedió a la realización del bioensayo exploratorio, por lo cual se procedió a colocar los organismos en las diferentes cámaras (ya armadas anteriormente), en cada cristalizador se depositaron 10 organismos, los cuales fueron monitoreados por 96 horas en un intervalo de 1, 2, 4, 8, 18, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas (APHA, 1992).

### **3.5. Control del bioensayo**

Se observó cada cámara de bioensayos, y se registró en una bitácora el comportamiento de los organismos respecto al tiempo de exposición, para poder determinar la  $CL_{50}$ . Los organismos que presentaron palidez o sin movimiento se consideraron muertos y fueron retirados de la cámara de bioensayo.

### **3.6. Realización de los bioensayos exploratorios**

Los bioensayos exploratorios se efectuaron con el fin de identificar cuáles efluentes presentaban un mayor grado de toxicidad, con los resultados a razón de la mortalidad que se registró por cada bioensayo, se concluyó cuáles de los diez efluentes representan un nivel de toxicidad significativo. Ya con estos resultados se realizaron los bioensayos definitivos.

De igual forma, ayudaron a determinar el mínimo de organismos necesarios para cada bioensayo y el número mínimo de réplicas necesarias para cada bioensayo a realizar (APHA, 1992).

### **3.7. Realización de los bioensayos definitivos**

Para los bioensayos definitivos se siguieron los mismos criterios que se utilizaron en los bioensayos exploratorios, en cuanto al control de los bioensayos, la metodología de recolección de los organismos, identificación y aclimatación. Con lo que respecta a la exposición definitiva de las distintas aguas de cada efluente se utilizaron cinco diluciones (100, 75, 50, 25 y 12.5 %) para calcular la  $CL_{50}$  para cada efluente.

#### **3.7.1. Construcción del sistema de aireación de los bioensayos definitivos**

Debido al número de cámaras que se necesitaron airear, los bioensayos definitivos se realizaron en el laboratorio de Química de la Universidad de Quintana Roo, ya que este cuenta con un sistema de aireación en cada una de sus mesas.

Para el sistema de aireación se utilizó 8 metros de tubo CPVC sanitario de media pulgada, 9 metros de manguera de silicón para pecera, tapas para CPVC de media pulgada, 4 adaptadores macho de media pulga, 4 adaptadores hembra de media pulgada tubo CPVC de media pulgada, cuatro tees sencillas de media pulgada cada una y pegamento para CPVC “Tangit”, armando cuatro tubos con su respectivas entrada y salidas de aire, y a cada salida (dos tubos con 10 salidas y dos tubos con cinco salidas) se les adaptaron mangueras de silicón.

### **3.8. Calculo de la concentración letal media $CL_{50}$**

Para la obtención de la  $CL_{50}$  (concentración letal media) se utilizó el Método de Unidades Probabilística “Probit” establecido por la Norma Mexicana NMX-AA-087-19975-SCFI. Donde señala los pasos a seguir para obtener la  $CL_{50}$ , fórmulas, tablas del Probit empírico, y como graficar. Una vez terminado los bioensayos definitivos se procedió a calcular las  $CL_{50}$  de cada efluente, con la ayuda de un programa de cómputo  $CL_{50}$  versión 2.5 (Stephan, 1977),

### 3.9. Estimación del grado de toxicidad

Para determinar la toxicidad de los efluentes que llegan a la bahía, se calculó de acuerdo con la metodología que establece la norma mexicana NMX-AA-112-1995-SCFI, en la cual nos indica los procedimientos para calcular las Unidades de Toxicidad aguda (U.T.):

$$UT = (1 / CL_{50}) \times 100$$

Con ayuda de la tabla (3), se determinó la clasificación del grado de toxicidad de los efluentes evaluados y obtener las unidades de toxicidad agua (U.T.):

**Tabla 3.** Clasificación de toxicidad basada en Unidades de Toxicidad. Fuente: Saldaña *et al.*, 2002.

Clasificación	Toxicidad (U.T.)
<b>Altamente tóxico</b>	>4
<b>Tóxico</b>	2-4
<b>Moderadamente tóxico</b>	1.33-1.99
<b>Ligeramente tóxico</b>	<1.33

### 3.10. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos de las pruebas de toxicidad aguda, se aplicó previamente un análisis exploratorio (estadística descriptiva), con la finalidad de conocer el comportamiento general de los datos. Posteriormente, se procedió a realizar el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías (efluente y concentración) con un diseño de bloques completo al azar, con el propósito de analizar las diferencias entre los siete efluentes evaluados y las diferencias entre las concentraciones, considerando como variable de respuesta la mortalidad de *Laeonereis culveri* a 96 h de exposición a los diferentes efluentes. El nivel de confianza considerado para este trabajo fue del 95 %. Para ello, se procedió a formular las siguientes hipótesis de trabajo.

- Hipótesis nula =  $H_0$ : No se encontró suficiente evidencia de la mortalidad entre las diferentes concentraciones de cada uno de los efluentes evaluados.

- Hipótesis alterna =  $H_a$ : Existe diferencia significativa de la mortalidad entre las diferentes concentraciones de cada uno de los efluentes evaluados.

Al denotarse diferencias estadísticas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Todos los cálculos estadísticos se realizaron con el paquete Statistica versión 5.5®.



## Capítulo IV

# RESULTADOS

## 4. Resultados

### 4.1. Bioensayos exploratorios

Los bioensayos exploratorios realizados con los diez efluentes sirvieron para determinar cuáles representaban una descarga de aguas residuales significativas, y posteriormente realizar los bioensayos definitivos con los efluentes que presentaron una mayor toxicidad. Con los bioensayos exploratorios finalizados y obtenidos los registros de mortalidad en las bitácoras, se calculó el porcentaje de mortalidad para cada una de los diez efluentes. Lo que arrojó que, de los diez efluentes siete presentaron una mortalidad significativo mayor o igual a 50 %, siendo: Dina, Chevrolet, Sam's, Poder judicial, Muelle fiscal, Mega escultura, y CETMAR, siendo el de mayor porcentaje de mortalidad la descarga del muelle fiscal con el 80 % de mortalidad registrada a las 96 h de exposición. Y las más baja el efluente de Proterritorio con un 13 % de mortandad a las 96 h de exposición. A partir de ésta análisis se concluyó trabajar con los efluentes de la Dina, Chevrolet, Sam's, Poder Judicial, Muelle fiscal, mega escultura y CETMAR (Tabla 4) ya que son los efluentes que presentaron un porcentaje significativo de toxicidad.

**Tabla 4.** Mortalidad registrada en los bioensayos exploratorios por cada efluente.

Efluente	Porcentaje (%)
Muelle Fiscal	80.00
CETMAR	76.66
Chevrolet	73.33
Poder judicial	63.33
Sam's	60.00
Obelisco	60.00
Dina	56.66
Mega escultura	50.00
Refugio de Aves	36.66
Proterritorio	13.33

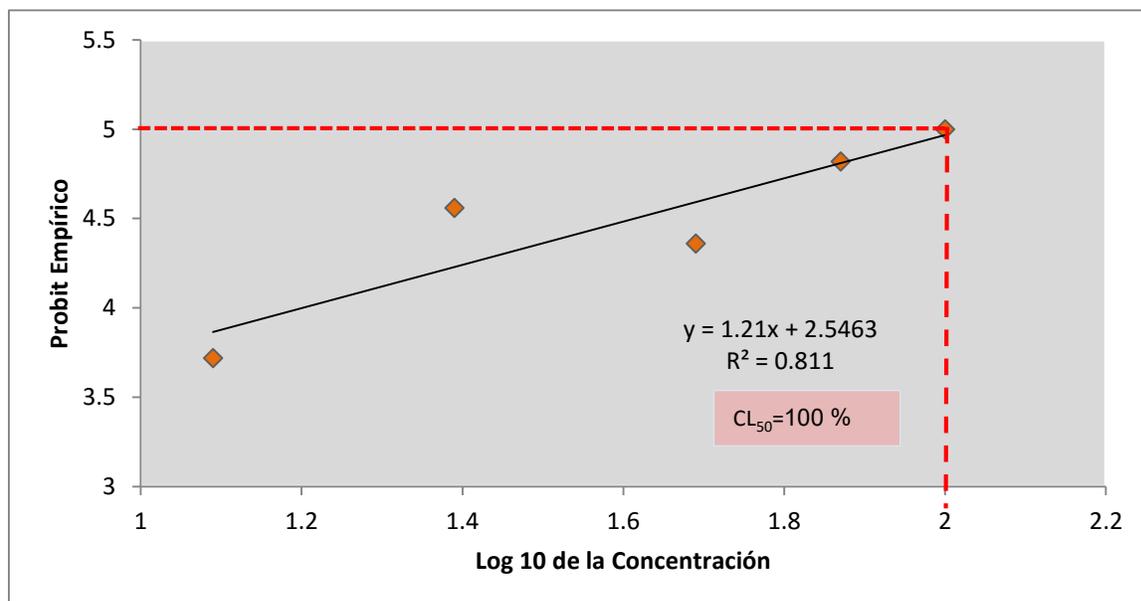
## 4.2. Bioensayos definitivos

### 4.2.1. Dina

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Dina; la concentración más alta (100 %) presentó la mayor mortalidad con el 50 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 10 % (Tabla 5). La CL<sub>50</sub> del efluente de la estación Dina para *Laonereis culveri* fue 100 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 43.63 % y un límite inferior de 66.72 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.81$ ) (Figura 2).

**Tabla 5.** Resultados de toxicidad del efluente Dina

Dina						
Concentración(%)	No. de organismo	No. de organismos muertos	Porcentaje mortandad (%)	de	Log de concentración	la Probit empírico
100	30	15	50		2	5
75	30	13	43.33		1.87	4.82
50	30	8	26.66		1.69	4.36
25	30	10	33.33		1.39	4.56
12.5	30	3	10		1.09	3.72
Control	30	0	0		0	0



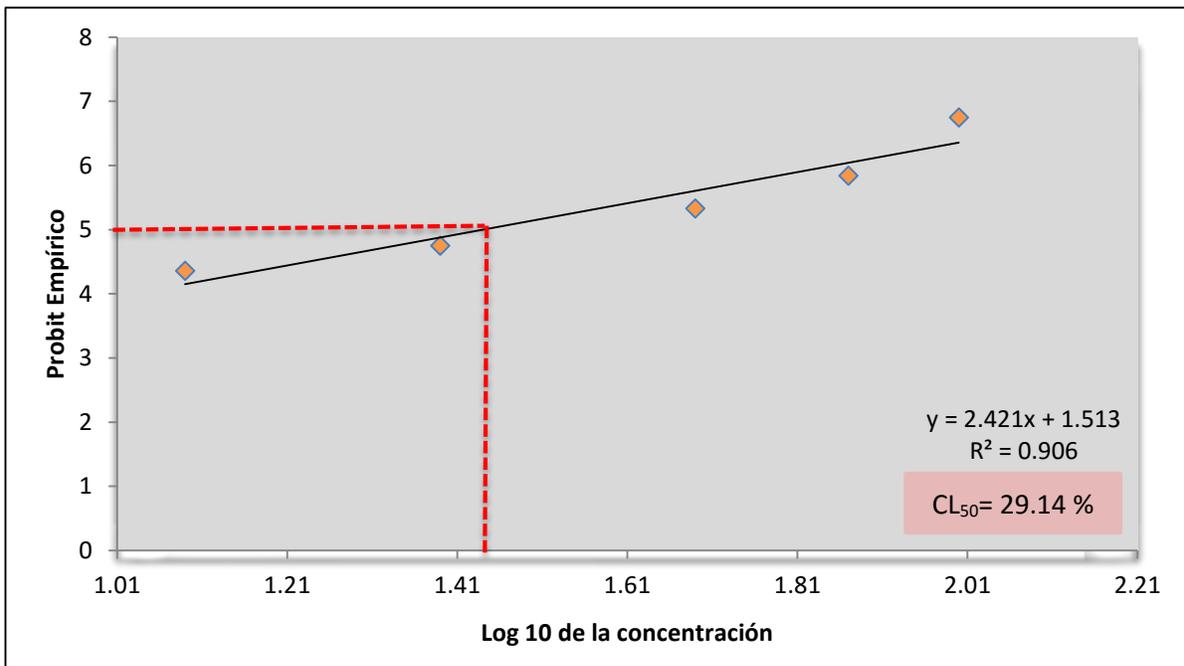
**Figura 2.** Probit empírico contra Log de la Concentración del efluente Dina y estimación de la CL<sub>50</sub> a 96 h en *Laonereis culveri*.

#### 4.2.2. Chevrolet

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Chevrolet; la concentración más alta ( 100 %) presentó la mayor mortalidad con el 96.6 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 26.66 % (Tabla 6). La CL<sub>50</sub> del efluente de la estación Chevrolet para *Laeonereis culveri* fue 29.14 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 36.78 % y un límite inferior de 21.67 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.90$ ) (Figura 3).

**Tabla 6.** Resultados de toxicidad del efluente Chevrolet.

Chevrolet					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos muertos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	29	96.66	2	6.75
75	30	24	80	1.87	5.84
50	30	19	63.33	1.69	5.33
25	30	12	40	1.39	4.75
12.5	30	8	26.66	1.09	4.36
Control	30	0	0	0	0



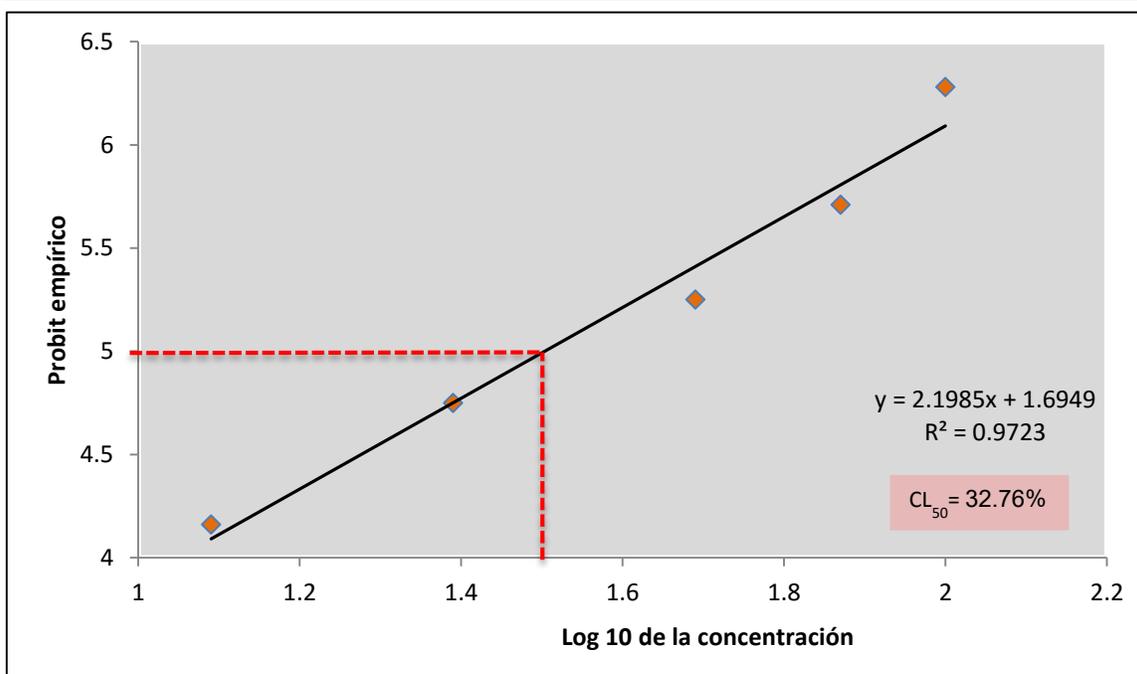
**Figura 3.** Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Chevrolet y estimación de la CL<sub>50</sub> a 96 h en *Laeonereis culveri*.

### 4.2.3. Sam's

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Sam's; la concentración más alta (100 %) presentó la mayor mortalidad con el 90.0 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 20 % (Tabla 7). La  $CL_{50}$  del efluente de la estación Sam's para *Laonereis culveri* fue 32.76 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 41.41 % y un límite inferior de 24.71 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.97$ ) (Figura 4).

**Tabla 7.** Resultados de toxicidad del efluente Sam's.

Sam's					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos Muertos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	27	90	2	6.28
75	30	23	76.66	1.87	5.71
50	30	18	60	1.69	5.25
25	30	12	40	1.39	4.75
12.5	30	6	20	1.09	4.16
Control	30	0	0	0	0



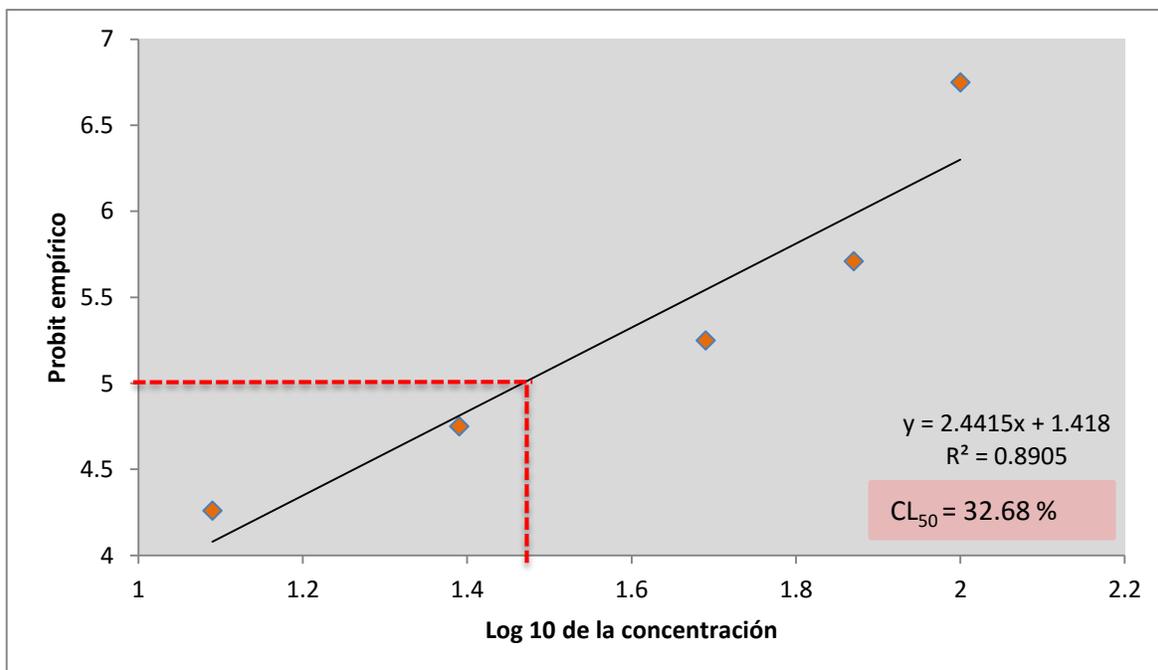
**Figura 4.** Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Sam's y estimación de la  $CL_{50}$  a 96 h en *Laonereis culveri*.

#### 4.2.4. Poder Judicial

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Poder Judicial; la concentración 100 % presento la mayor mortandad con el 96.66 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 23.33 % (Tabla 8). La CL50 del efluente de la estación Poder Judicial para *Laonereis culveri* fue de 32.68 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 38.58 % y un límite inferior a 23.16 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2=0.89$ ) (Figura 5).

**Tabla 8.** Resultados de toxicidad del efluente Poder Judicial.

Poder judicial					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	29	96.66	2	6.75
75	30	23	76.66	1.87	5.71
50	30	18	60	1.69	5.25
25	30	12	40	1.39	4.75
12.5	30	7	23.33	1.09	4.26
Control	30	0	0	0	0



**Figura 5.** Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Poder Judicial y estimación de la CL<sub>50</sub> a 96 h en *Laonereis culveri*.

#### 4.2.5. Muelle Fiscal

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Muelle Fiscal; la concentración 100 % y 75 % presentaron la mayor mortalidad con el 100% y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 43.33 % (Tabla 9). La  $CL_{50}$  del efluente de la estación Muelle Fiscal para *Laeonereis culveri* fue de 17.05 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 21.81 % y un límite inferior a 11.80 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.84$ ) (Figura 6).

**Tabla 9.** Resultados de toxicidad del efluente Muelle Fiscal.

Muelle fiscal					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos Muertos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	30	100	2	8.09
75	30	30	100	1.87	8.09
50	30	24	80	1.69	5.84
25	30	18	60	1.39	5.25
12.5	30	13	43.33	1.09	4.82
Control	30	0	0	0	0

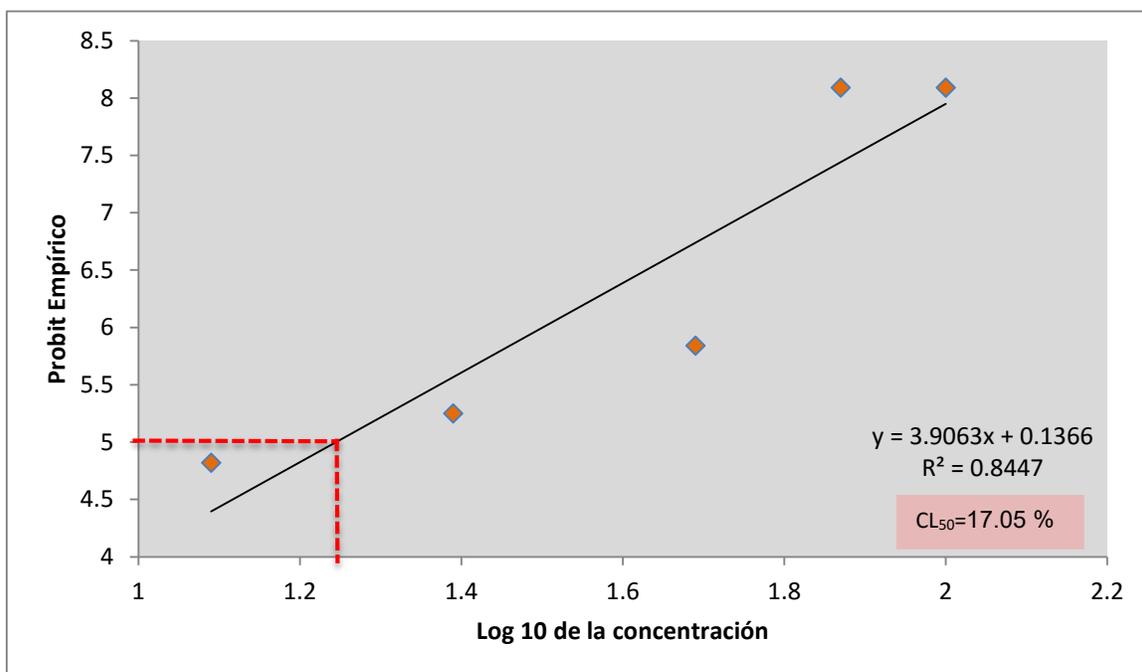


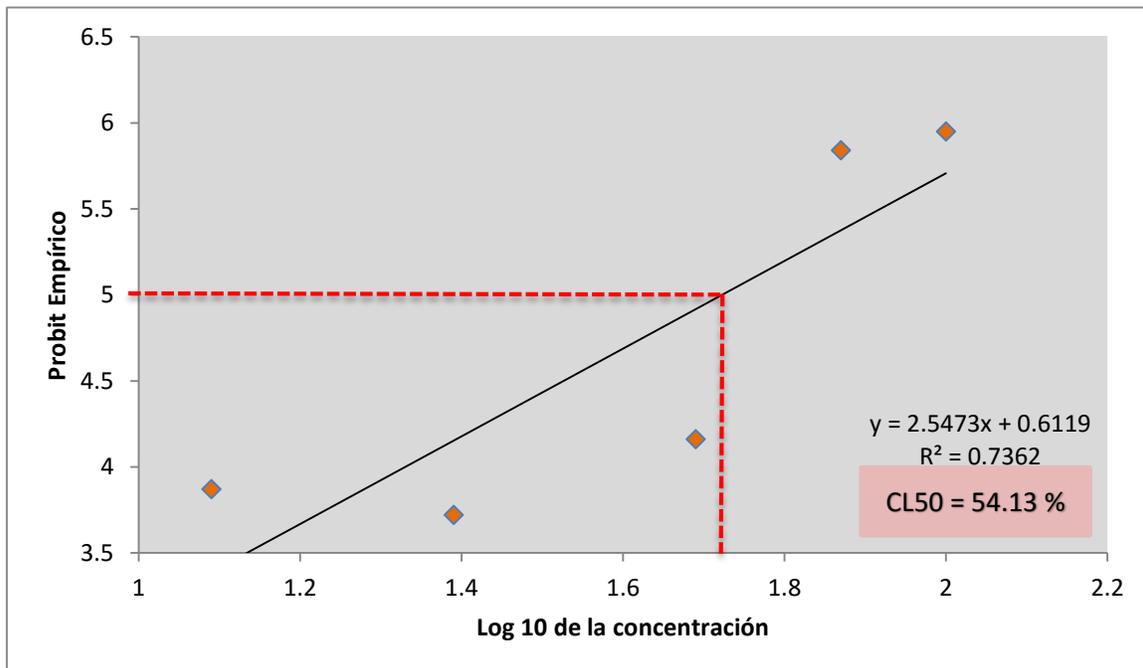
Figura 6. Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Muelle Fiscal y estimación de la  $CL_{50}$  a 96 h en *Laeonereis culveri*.

#### 4.2.6. Mega escultura

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación Mega escultura; la concentración 100 % presento la mayor mortalidad con el 83.33 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 13.33 % (Tabla 10). La CL<sub>50</sub> del efluente de la estación Mega escultura para *Laeonereis culveri* fue de 54.13 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 67.33 % y un límite inferior a 45.31 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.73$ ) (Figura 7).

**Tabla 10.** Resultados de toxicidad del efluente Mega escultura.

Mega escultura					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos Muertos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	25	83.33	2	5.95
75	30	24	80	1.87	5.84
50	30	6	20	1.69	4.16
25	30	3	10	1.39	3.72
12.5	30	4	13.33	1.09	3.87
Control	30	0	0	0	0



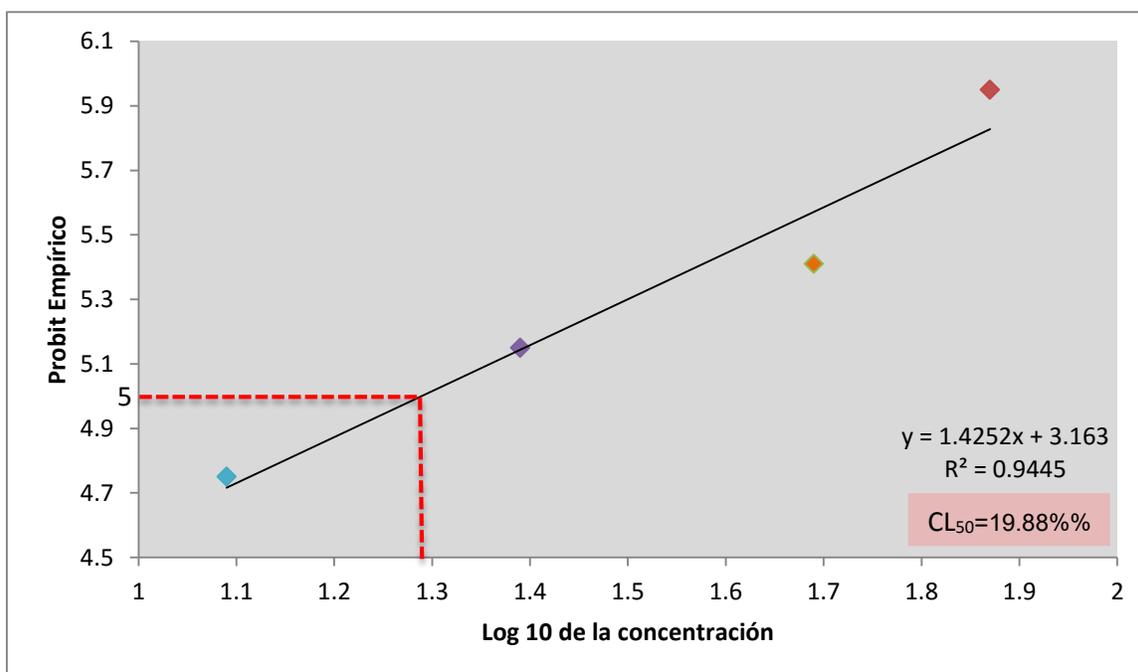
**Figura 7.** Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente Mega escultura y estimación de la CL<sub>50</sub> a 96 h en *Laeonereis culveri*.

#### 4.2.7. CETMAR

La prueba de toxicidad determinó la mortalidad para cada concentración de la estación CETMAR; la concentración 100 % presento la mayor mortalidad con el 100 % y la concentración con la menor mortalidad fue 12.5 % con el 40 % (Tabla 11). La  $CL_{50}$  del efluente de la estación CETMAR para *Laonereis culveri* fue de 19.88 %, obteniéndose a 96 h de exposición, con un intervalo de confianza de 95 % arrojando un límite superior de 26.65 % y un límite inferior a 12.39 % y con un coeficiente de correlación significativo ( $R^2 = 0.94$ ) (Figura 8).

**Tabla 11.** Resultados de toxicidad del efluente CETMAR.

CETMAR					
Concentración (%)	No. de organismos expuestos	No. de organismos Muertos	Porcentaje de mortandad (%)	Log de la concentración	Probit empírico
100	30	30	100	2	8.09
75	30	25	83.33	1.87	5.95
50	30	20	66.66	1.69	5.41
25	30	17	56.66	1.39	5.15
12.5	30	12	40	1.09	4.75
Control	30	0	0	0	0



**Figura 8.** Probit Empírico contra Log de la Concentración del efluente CETMAR y estimación de la  $CL_{50}$  a 96 h en *Laonereis culveri*.

### 4.3. Comparación general de la CL<sub>50</sub>.

Con ayuda del programa de cómputo CL<sub>50</sub> versión 2.5 se determinó la CL<sub>50</sub>, como también los límites inferiores y superiores de cada efluente estudiado. Siendo el Muelle Fiscal el que presentó la mayor toxicidad con una CL<sub>50-96 h</sub> de 17.05 %, seguida del efluente del CETMAR con una CL<sub>50-96 h</sub> de 19.88 %, estas dos últimas son las más tóxicas de los siete efluentes evaluados mediante los bioensayos y la menos tóxica fue el efluente de la Dina con una CL<sub>50-96 h</sub> de 107.78 %. (Tabla 12).

**Tabla 12.** Concentración letal media obtenida, en los bioensayos ecotoxicológicos con sus respectivos límites inferiores y máximos.

Efluente	Lím. Inferior	CL <sub>50</sub>	Lím. Superior
MUELLE FISCAL	11.80	17.05	21.81
CETMAR	12.39	19.88	26.65
CHEVROLET	21.67	29.19	36.78
PODER JUDICIAL	23.16	30.68	38.58
SAM'S	24.67	32.76	41.41
MEGA ECULTURA	45.31	54.13	67.33
DINA	66.72	100.00	443.63

### 4.4. Grado de toxicidad por cada efluente

Para estimar el grado de toxicidad de los siete efluentes con *Laeonereis culveri*, se obtuvieron las Unidades de Toxicidad (U.T.), a partir de los valores de la CL<sub>50</sub> de los bioensayos a 96 h. A continuación, en la tabla 13 se puede observar la clasificación tóxica para cada efluente en orden decreciente.

:

**Tabla 13.** Clasificación en unidades de toxicidad obtenida para cada efluente en *Laeonereis culveri*.

Efluente	U.T.	Clasificación
Muelle fiscal	5.71	Muy tóxica
CETMAR	5.12	Muy tóxica
Chevrolet	3.71	tóxica
Poder Judicial	3.31	tóxica
Sam's	3.16	tóxica
Mega escultura	1.90	Moderadamente tóxica
Dina	1	Ligeramente tóxica

Las unidades de toxicidad de los efluentes Muelle fiscal y CETMAR presentaron una clasificación de muy tóxica, seguidas por los efluentes de las estaciones de la Chevrolet, Sam's y la del Poder Judicial, con el grado de tóxicas, y los efluentes de la Dina y Mega escultura fueron las de toxicidad más baja.

#### 4.5. Análisis estadístico

Se presentan los resultados de mortalidad (variable dependiente) obtenidos del análisis exploratorio de las siete pruebas ecotoxicológicas (Tabla 14).

**Tabla 14.** Estadística descriptiva de la variable dependiente.

Variable dependiente: Mortalidad	
Numero de valores	126
Media	4.73
Límite de confiabilidad inferior 95%	4.13
Límite de confiabilidad superior 95%	5.34
Mediana	5.00
Mínimo	0
Máximo	10
Amplitud	0.056
Varianza	11.77
Dev. Std.	3.43
Error Std.	0.30
Kurtosis	-1.30

En los resultados de la estadística descriptiva (Tabla 14), se encontró que la variable dependiente número de organismos muertos presenta una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov  $d=1.199 < p < 0.113$ ). En cuanto al comportamiento normal de la variable dependiente con relación a los diferentes niveles de concentración de los siete efluentes que fueron expuestos los organismos, los valores se distribuyen dentro de la elipse de confianza del 95%. Esto confirma que los valores de la variable dependiente tienen una distribución normal (Figura 9). La condición que se necesita para efectuar el tipo de análisis correcto; paramétrico o no paramétrico, es a partir del comportamiento de los datos, en nuestro caso se aplicó un ANOVA paramétrica debido a que nuestros datos se comportaron normales.

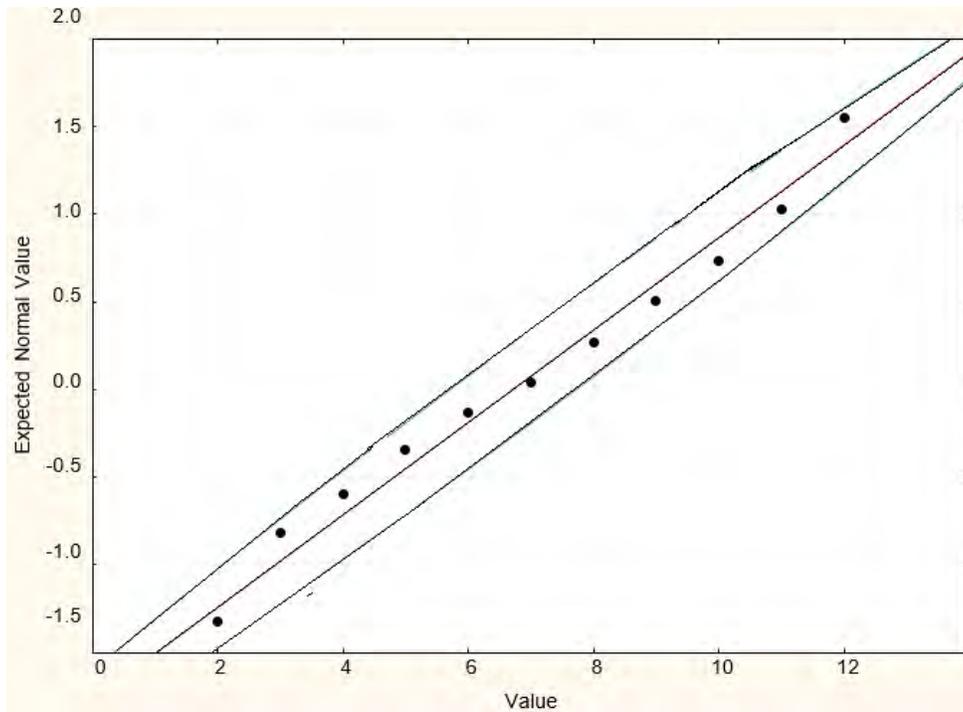


Figura 9. Normalidad de la variable dependiente y elipse de confianza del 95 %.

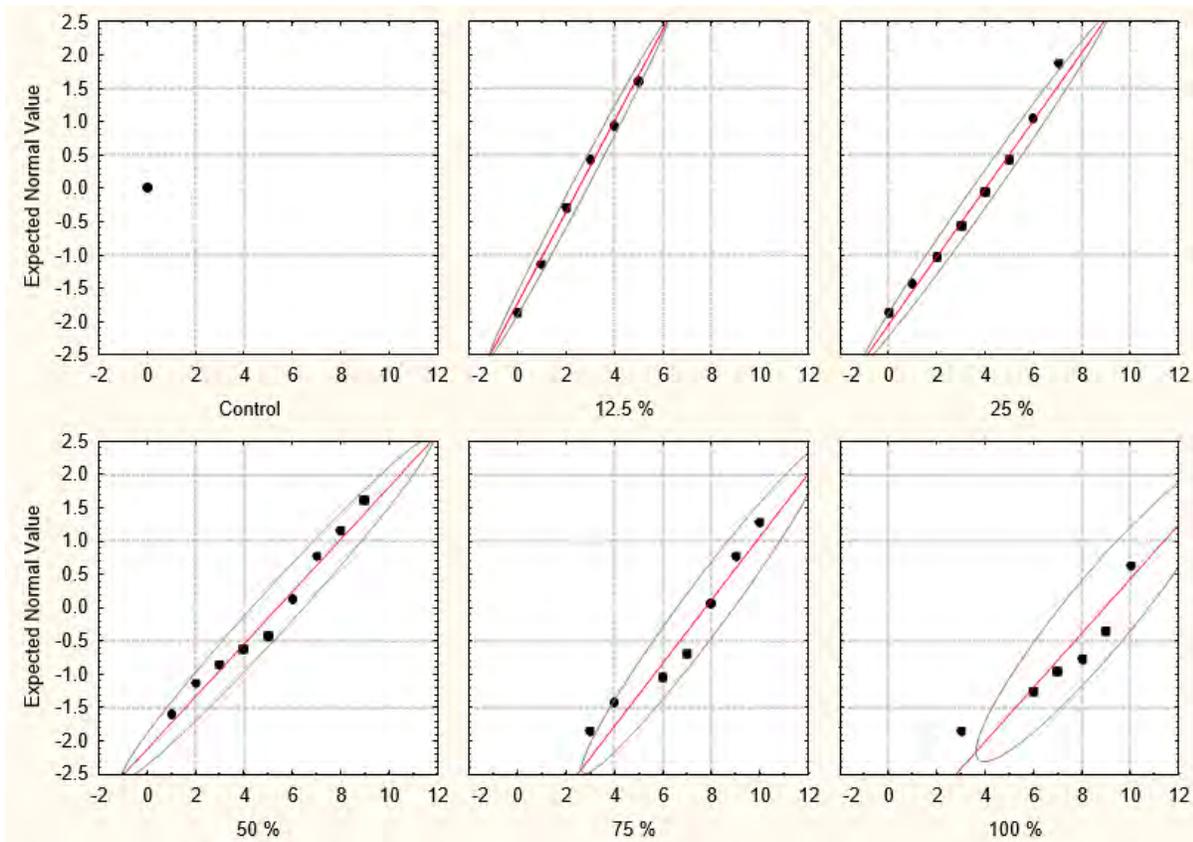
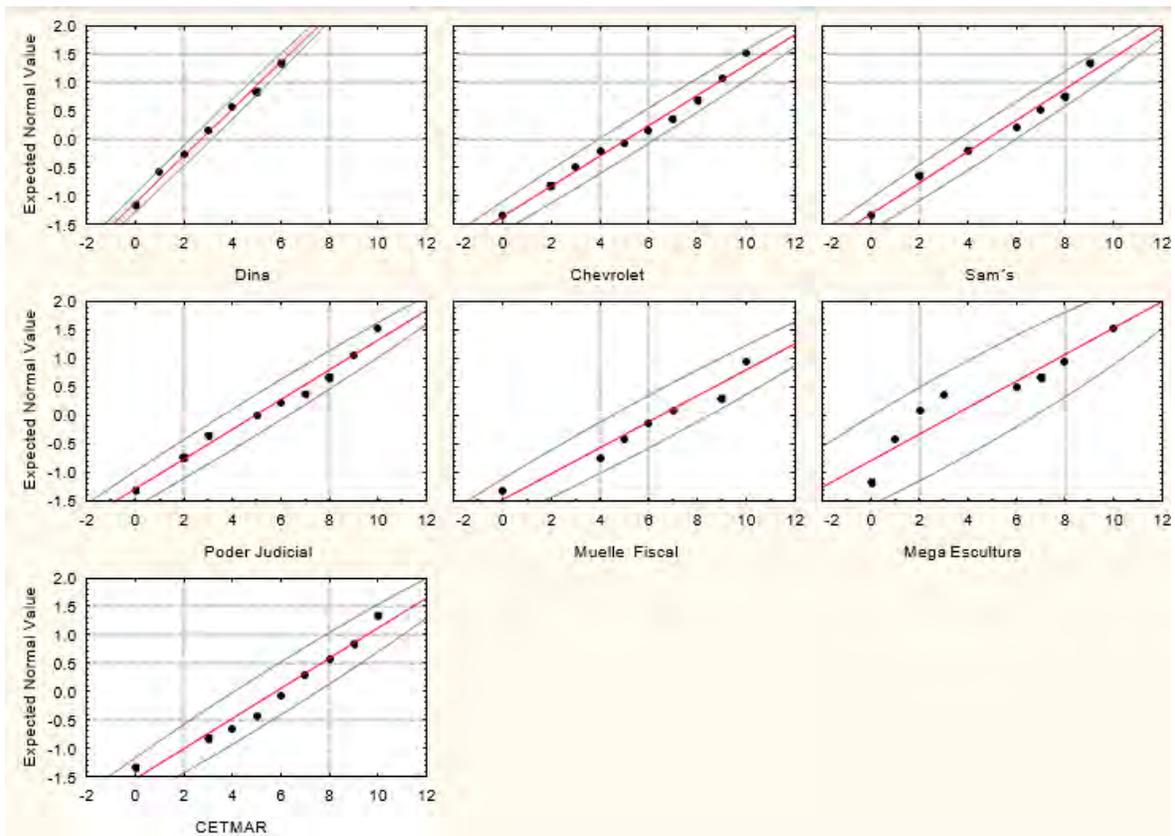


Figura 10. Distribución normal de la variable dependiente clasificada por diferentes niveles de concentración.



**Figura 11.** Distribución normal de la variable dependiente clasificada por efluente.

Al aplicar la prueba de ANOVA, se encontraron diferencias significativas entre los siete efluentes ( $F = 6.114$   $p < 0.05$ ) (Figura 10). También, se logró analizar de forma general el comportamiento de las concentraciones en los siete efluentes, el análisis de varianza demostró que sí existen diferencias significativas entre la mortalidad de los diversos niveles de concentración ( $F = 19.726$ ;  $p < 0.05$ ) (Figura 11). Por último, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las repeticiones en los siete efluentes.

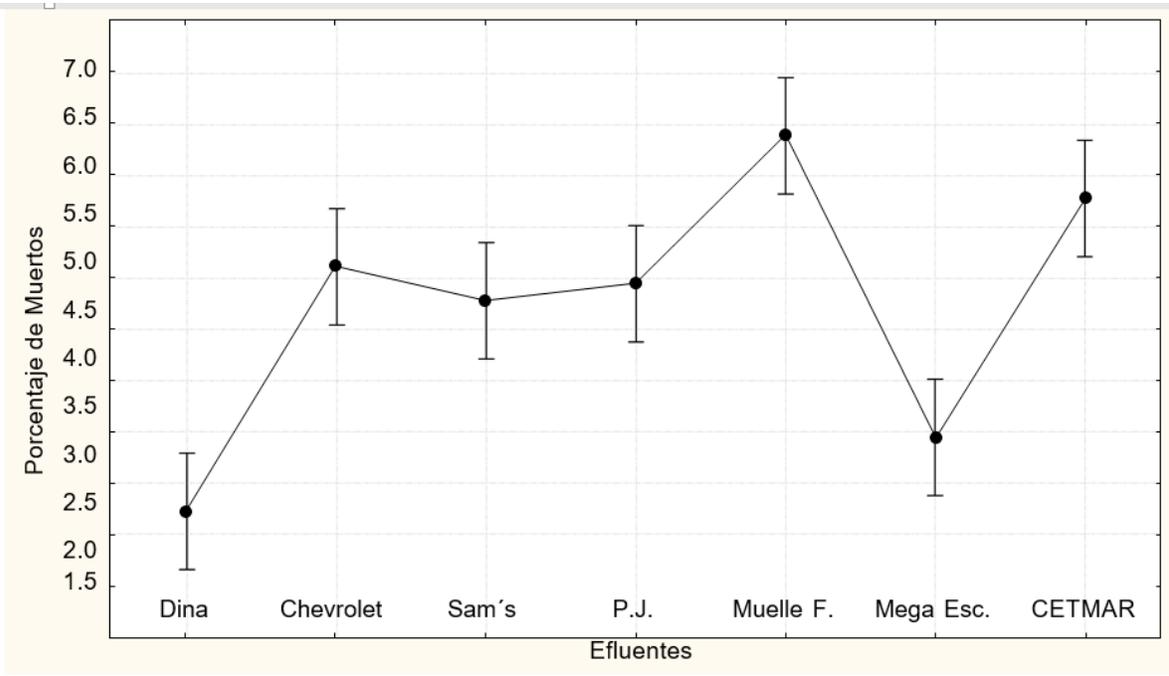


Figura 12. Relación entre los siete efluentes respecto a la mortandad.

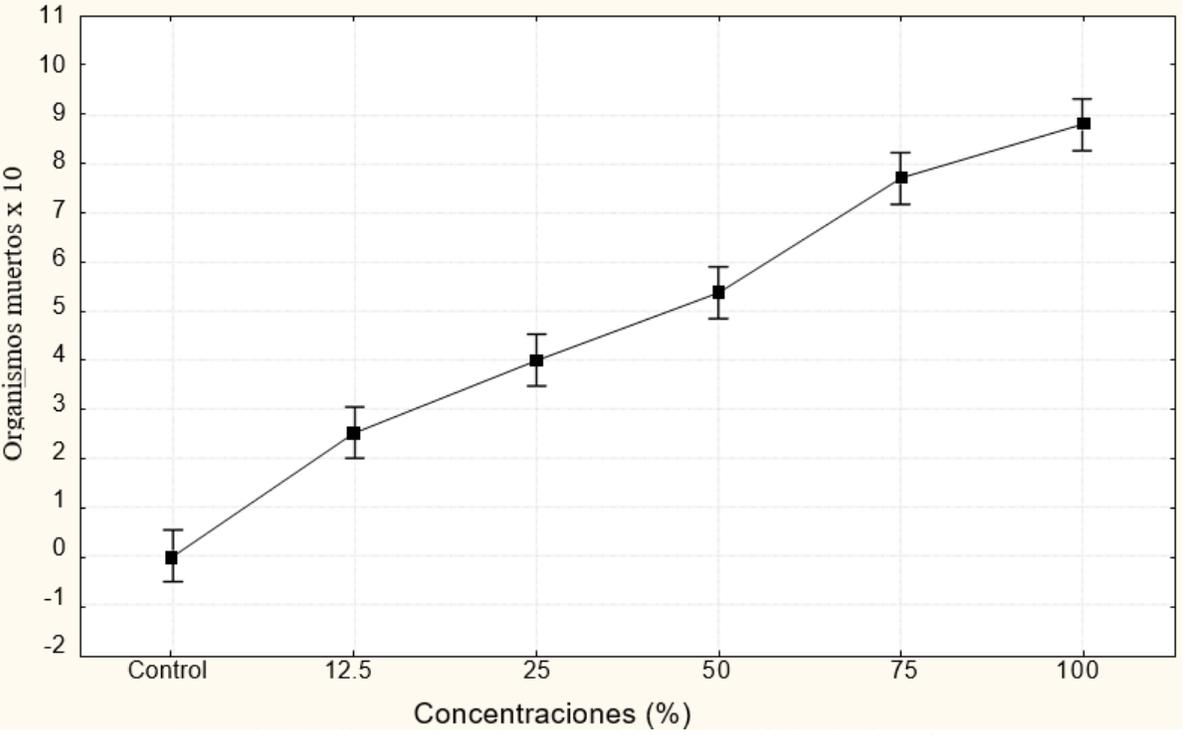


Figura 13. Relación general entre la concentración y la mortandad en los siete efluentes.

En el presente estudio los niveles de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH presentaron variaciones, en los bioensayos exploratorios la temperatura presentó un rango de 19 a 22.1°C, la salinidad presentó un rango de 0.1 a 19.50 ppm, el oxígeno disuelto presentó un rango de 1.9 a 22.12 mg/L y el pH tubo un rango de 6.93 a 8. Mientras que en los bioensayos definitivos mostraron un comportamiento variable ya que la salinidad arrojó un rango de 0.1 a 19.9 ppm, el oxígeno disuelto el rango fue de 4.9 a 8.7 mg/l, el rango del pH fue de 6.64 a 7.8 y el rango para la temperatura fue de 21.7 a 30 °C (Tabla 15).

**Tabla 15.** Parámetros físico-químicos obtenidos durante los bioensayos definitivos.

Efluente	Salinidad(ppm)		Oxígeno Disuelto (mg/L)		pH		Temperatura(°C)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Dina	0.1	17.8	4.9	9.1	6.63	7.8	22.3	23.5
Chevrolet	6.7	19.9	4.8	9.3	7.3	7.9	21.7	23
Sam's	7.9	19.9	4.4	7.7	7.3	7.9	22.3	30
Poder Judicial	6.1	19.9	7.4	8.7	7.4	7.8	23.7	24.9
Muelle Fiscal	5.8	19.9	6	8.2	7.4	7.8	24.3	24.9
Mega escultura	4.3	19.9	5.4	8	7.4	7.8	23.8	24.8
CETMAR	6.3	19.9	6.4	7.8	7.4	7.8	24.4	24.9



## Capítulo V

# DISCUSIONES

## 5. Discusiones

Actualmente existe poca literatura especializada sobre el posible impacto de los efluentes en la bahía de Chetumal, por lo que los estudios de toxicidad representan el complemento ideal en la evaluación ambiental (Iannacone y Alvariño, 1997). Al ser una especie representativa y sensible *Laeonereis culveri* se ha utilizado en diversos estudios de toxicidad (Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012; 2015), por lo que se ha seleccionado nuevamente para evaluar los efluentes de la bahía de Chetumal.

Al término de las pruebas ecotoxicológicas se determinó que los efluentes presentaron una mortalidad significativa, esto se puede deber a que las sustancias que son vertidas a la bahía contienen diversas sustancias que están causando un impacto al ecosistema acuático. De acuerdo a las  $CL_{50}$  obtenidas por cada efluente se puede observar variaciones entre ellas: Muelle fiscal (17.05 %), CETMAR (19.88 %), Chevrolet (29.19 %), Poder judicial (30.68 %), Sam's (32.76 %), Mega escultura (54.13 %) y Dina (107.78 %). Esto se debe a que las aguas de los efluentes transportan mezclas complejas de diversas sustancias, y de diferentes caudales que llegan a la bahía, procedentes de las diversas actividades humanas realizadas en el centro de la ciudad de Chetumal. Indicando que las cargas tóxicas de los efluentes dependen no sólo de la concentración del vertimiento, sino del caudal aportado por cada efluente (Iannacone *et al.*, 2000). Flores Rodríguez *et al.*, (2000) reportaron altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes (nitritos, nitratos y fosforo) en las aguas residuales de los efluentes. Creando condiciones propicias para el crecimiento de algas filamentosas en la desembocadura del efluente del Muelle fiscal. También, se han registrado altas concentraciones de coliformes totales y fecales en el mismo efluente, debido al deficiente sistema de drenaje, ya que muchas casas habitaciones y restaurantes están conectadas clandestinamente al sistema, así como viejas fosas sépticas Ortiz-Hernández *et al.*, (1985). En otros trabajos, Sáenz-Morales *et al.*, (1997) evaluaron los efectos y distribución de la materia fecal en la bahía, encontrando la mayor concentración de coliformes en la estación 2 que corresponde al muelle fiscal; así como también Bravo-Medrano (2008) reportó altas concentraciones de nutrientes (nitritos, nitratos y amonio) y coliformes en las estaciones de la Dina, Chevrolet, Sam's y el Muelle fiscal.

Ciertas áreas de la bahía rebasan los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 de 240 Número más probable (NMP)/ 100 ml (Diario Oficial de la Federación, 1997) y para el uso recreativo con contacto primario como se señalan en los Criterios de la Calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989) y de control de la contaminación de aguas (SUBSRIA. ECOLOGIA 1986) para uso de recreación con contacto primario donde establece un máximo de 200 coliformes fecales por 100 ml; las estaciones con este problema fueron Punta estrella y antigua expofer (ahora Sam's Club). También, la influencia de los efluentes de aguas residuales que son vertidos a la bahía, contribuyen a la acumulación de materia orgánica en el sedimento, principalmente en las áreas con poca influencia de oleaje o corrientes, lo cual provoca, el incremento de nutrientes hasta niveles considerados como contaminantes Flores Rodríguez *et al.*, (2000).

La respuesta de toxicidad de los siete efluentes en términos de CL<sub>50</sub> a 96 h de exposición en *Laeonereis culveri*, presentó una variación de 100 a 17.05 %. Esto puede ser debido a que la contaminación marina y costera más notable proviene de las descargas de aguas residuales municipales, debido a la ausencia o ineficiencia de plantas de tratamiento de agua en las grandes ciudades de la región (Botello *et al.*, 1996). Tales descargas de nutrientes aumentan los problemas de eutrofización y, en particular, los excesos de materia orgánica, sin dejar atrás la gran diversidad de sustancias que las descargas pueden contener (Detergentes, metales pesados, hidrocarburos, grasas, aceites, por mencionar algunos). Es evidente que el desarrollo poblacional, turístico y económico, está ocasionando daños a las diferentes especies marinas y también a la población que utiliza esta bahía como balneario (González-Bucio *et al.*, 2008). Es estratégico mencionar que el 1996 se encontraron más de 20,000 bagres (*Ariopsis assimilis*) muertos, debido a una contaminación de fuentes no localizadas, por plaguicidas organoclorados (Ortiz-Hernández, et al., 1997). (Buenfil-Rojas y Flores-Cuevas, 2007) determinaron la presencia de metales pesados en el río Hondo, donde los resultados arrojaron que el arsénico, cadmio y mercurio, se encuentran en por encima de los límites permisibles por la NOM-01 ECOL-1996 la cual establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, sin embargo, los dos puntos más cercanos al mar, es decir, en Subteniente López y en la desembocadura del río en Villas Manatí .son los que presentan mayor índice de metales. Mientras que, en los demás puntos, según el análisis, son escasos o nulos; probablemente este comportamiento es debido precisamente a la cercanía con el mar y al arrastre producido por las corrientes. El cadmio y mercurio son los únicos elementos que rebasan los límites máximos y que están presentes en las 5 estaciones de muestreo. Este descubrimiento, permite

identificar el grado de contaminación y a su vez el grado de afectación de la presencia de dichos metales al cuerpo de agua y a todos los usuarios del mismo. Al estar situadas a lo largo de la zona conurbada los efluentes evaluados, el comportamiento respecto a la toxicidad es diferente esto debido a que cada una de ellas tiene diferentes aportes de aguas, ya que en ellas transportan una gran cantidad de sustancias, por lo que el contenido de cada efluente es diferente.

Durante los bioensayos, se observó una disminución en la mortalidad de *L. culveri* después de las 46 h en un rango de  $CL_{50}$ , con 17.05-107.7 % de exposición en los efluentes de la bahía. Esta observación concuerda con los resultados de Villamarín-Jiménez, *et al.*, (2013) donde observaron un comportamiento similar al disminuir la mortalidad de *Gambusia affinis* después de 72 h con una  $CL_{50}$ , de 15.80 %, con efluentes industriales que son vertido a la bahía de Cartagena, Colombia; éstos efluentes presentaron una gran diversidad de sustancias que son mucho más tóxicas, que los efluentes que se evaluaron en este estudio. Esto se debe a que *L. culveri* es más sensible a las aguas residuales de los efluentes de la bahía, por lo que su mortandad es mayor en las primeras horas. Por otro lado, Carballo *et al.*, (2002) realizaron un perfil de compuestos orgánicos y una valoración toxicológica de una planta de tratamiento con diversos organismos; para determinar la toxicidad aguda se utilizó *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, para los ensayos de toxicidad crónica se utilizó *Oryzias latipes*, para determinar mutagenicidad se utilizó *Salmonella typhimurium* y para determinar la teratogenia se utilizó *Oryzias latipes*. Los resultados indicaron que siete efluentes presentaron toxicidad aguda, tres crónicas y cuatro de estrogenicidad, debido a la presencia de diversos contaminantes, provenientes de múltiples orígenes de procesos industriales, que al llegar a cuerpos receptores representa un peligro para los cuerpos de agua. Por lo consiguiente se denota que los aportes de las descargas que llegan a cualquier cuerpo de agua receptor, contienen una inmensa cantidad de sustancias que resulta nocivos para los diferentes organismos que habitan los cuerpos de agua.

La evaluación de la toxicidad de los siete efluentes en *Laeonereis culveri*, muestran que el grado de toxicidad va en una escala de ligeramente tóxico a muy tóxico, presentando el siguiente orden secuencial en Unidades de Toxicidad: Dina (1) < Mega escultura (1.90) < Sam's (3.16) < Poder Judicial (3.31) < Chevrolet (3.71) < CETMAR (5.12) < Muelle fiscal (5.71). Con los valores de toxicidad obtenidos de cada efluente podrían servir como una referencia para evaluar periódicamente la toxicidad de las aguas residuales de la bahía de Chetumal, ya que los resultados, denotan que probablemente existe el riesgo que estos efluentes causen efectos adversos a los organismos del

sistema acuático, en especial a los organismos que habitan en el sedimento.

Al aplicar la prueba ANOVA, mostraron diferencias significativas ( $F = 6.114$ ;  $p < 0.05$ ) entre la mortalidad obtenida y entre los siete efluentes. Es decir, sí la mortalidad dependía de la concentración del efluente, entonces, el F calculado fue mayor que el F teórico, por lo que se acepta que la mortalidad obtenida, está en función de la concentración del efluente. Esto significa que el comportamiento de la mortalidad de *Laeonereis culveri* al ser expuesto a los siete efluentes evaluados fue en cada caso diferente, ya que cada uno de estos efluentes posiblemente presenta diferencias en aportes de sustancias tóxicas y en su concentración. Lo que demuestra que los efluentes evaluados fueron posiblemente la causa de la mortalidad de los organismos utilizados en este estudio.

En general, los resultados obtenidos de la  $CL_{50}$  de los diez efluentes seleccionados permiten evaluar la toxicidad de cada efluente en la bahía de Chetumal, lo que constituye como un instrumento útil de jerarquización de toxicidad y, consecuentemente, de adopción de estrategias y toma de decisiones en las acciones de control ejercidas por las entidades reguladoras. Por lo tanto, los resultados de las pruebas ecotoxicológicas con *Laeonereis culveri* a 96 h, las  $CL_{50}$  para cada efluente nos indica que la bahía de Chetumal, está siendo posiblemente impactada por descargas con una gran carga de sustancias tóxicas.



## Capítulo VI

# CONCLUSIONES

## 6. Conclusiones

Los bioensayos ecotoxicológicos mostraron que *Laeonereis culveri* fue sensible a los diferentes efluentes expuestos a un periodo de 96 h, esta especie puede ser utilizada como herramienta para la evaluación de riesgos ambientales y como indicador de la calidad del agua de la Bahía de Chetumal, Q. Roo.

- Los efluentes con aguas de mayor toxicidad de acuerdo a la  $CL_{50}$  a 96 h en *Laeonereis culveri* en orden descendente son: Dina 107.78%, Mega escultura 54.13%, Sam's 32.76%, Poder judicial 30.68%, Chevrolet 29.19%, CETMAR 19.88%, Muelle fiscal 17.05%.
- El efluente con mayor toxicidad de acuerdo a los resultados de la  $CL_{50}$  a 96 h en *Laeonereis culveri* Fue el muelle fiscal con 17.05 %, de acuerdo a el análisis de los resultado esto se puede deber que este efluente esta en la zona más antigua de la ciudad donde se carece de un sistema de drenaje, por lo cual causa que todas las escorrentías y demás lleguen con mayores sustancia a la bahía.
- Las Unidades de toxicidad de cada efluente son: Dina 1, Mega escultura 1.90, Sam's 3.16, Poder judicial 3.31, Chevrolet 3.71, CETMAR 5.12 y Muelle fiscal 5.71, por lo tanto, se observa que existe una toxicidad de moderada a muy tóxica.
- De acuerdo con la mortandad registrada en los bioensayos con *Laeonereis culveri* en los siete efluentes evaluados y en los diferentes niveles de concentración a los que fueron expuestos, estos; mostraron diferencias significativas al aplicar el análisis estadístico ANOVA ( $p < 0.05$ ), lo que indica, que el comportamiento de la mortalidad fue diferente en cada tratamiento y en los diferentes niveles de concentración, esto probablemente se deba a la diversidad de sustancias que con tienen las aguas residuales que son vertidas en cada uno de los efluentes.
- Se determinó que la carga de sustancias que llegas a la bahía a través de las descargas de aguas residuales clandestinas y drenajes, resulta perjudicial para el organismo de

prueba, por lo que; este estudio puede representar una referencia para futuros estudios de las descargas que existen en la bahía.



## Capítulo VII

# RECOMENDACIONES

## 7. Recomendaciones

- Se recomienda incluir análisis de materia orgánica, nutrientes, DBO, metales, hidrocarburos, plaguicidas, detergentes, etcétera, en los bioensayos ecotoxicológicos para un mejor análisis, interpretación, comprensión de los resultados y aportar una mayor referencia de los contaminantes en la bahía de Chetumal.
- Realizar monitoreos por temporales en los efluentes para determinar si existe comportamiento de toxicidad entre temporadas.
- Utilizar otros organismos de prueba, de la región y de importancia ecológica de la Bahía de Chetumal como pueden ser: algunas especies de peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas en los bioensayos, con la finalidad de generar mayor información ecotoxicológica de los efluentes evaluados u otros que puedan generarse con el paso del tiempo.
- Se recomienda la realización de pruebas ecotoxicológicas, con un número de réplicas mayor o igual 5, para calcular la  $CL_{50}$ , ya que al ampliar el número de réplicas se tendrá mayor confiabilidad estadística y exactitud en los resultados.
- Se recomienda la utilización de softwares para la determinación de la  $CL_{50}$ , reconocidos por organizaciones internacionales de regulación y control, con respecto a bioensayos de toxicidad, la norma mexicana NMX-AA-087-19975-SCFI, estandariza el método para evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, la cual nos dice como obtener todos los datos para este fin. Sin embargo, este método no puede ser utilizado en todos los casos ya que al obtener la  $CL_{50}$ , la curva que se obtiene nos arroja una desviación estándar muy elevada lo cual hace imposible calcular los valores del Probit calculado, por lo tanto, no se puede seguir utilizando este método.



## Capítulo VIII

# LITERATURA CITADA

## 8. Literatura citada

- Álvarez-Legorrete, T. (2009). Contaminación acuática. En J. Espinoza-Ávalos, G. A. Islebe, & H. A. Hernández-Arana (Edits.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal; costa occidental del Mar Caribe* (pág. 252). Chetumal, Othon P. Blanco, México. Recuperado el 13 de Febrero de 2016
- APHA. (1992). *Standard Methods for the examination of water and*. Baltimore, Maryland, USA: Port City Press.
- Bohórquez-Echeverry, P., Duarte-Castañeda, M., León-López, N., & Caicedo-Carrascal, F. (agosto de 2012). *Le selección de una batería de bioensayos para evaluar la toxicidad en los afluentes y efluentes de tres plantas de tratamiento de agua. Biol.Trop., Vol. 17*(Num. 2), Colombia. Recuperado el 28 de octubre de 2015
- Botello, A., Ponce, A., Díaz, G., & Villanueva, S. (1996). *Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México* (2da Edición ed.). México.
- 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*. 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*. Memorias del VI Congreso internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales, Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingenierías, Chihuahua.
- Butler, G. C. (1978). *Principles of Ecotoxicology*. New York.
- Cantú, P. R. (2008). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo La experiencia en México* (Vol. Primera edición). (SEMARNAT, Ed.) México, D.F., Delegación Tlalpan.
- Carballo, M., Aguayo, S., Roset, J., De la Peña, E., De la Torre, A., y Muños, M. (2002). *Valoración de las aguas residuales mediante procedimientos analíticos y biológicos. Revista de Salud ambiental, Vol. 2*(Núm. 1), Pag. 32-38.
- Carlos E. Noriega, K. M.-M. (abril de 2009). *Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). Revista de biología marina y oceanografía, Vol. 44*(Num. 1), Pag. 93-108.

- Castillo Morales, G. (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: Estandarización, intercalibración, Resultados y aplicaciones*. (G. Castillo Morales, Ed.) México, México. Recuperado el 19 de octubre de 2015
- Castro Scarone, S., Espínosa Moltedo, J. C., Miguez Caramés, D., y Viana Matturro, F. (2002). *Los bioensayos como herramienta de evaluación de la toxicidad de los efluentes industriales en Uruguay*.
- Cesar Franca Braga, V. F.-F. (2011). *Benthic macroinfaunal assemblages associated with Amazonian saltmarshes*. *Wetlands Ecol Manage*, Pag. 257-272.
- Chalarca-Rodríguez, D. A., Mejía-Ruiz, R., y Aguirre-Ramírez, N. J. (2007). *Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticos del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la Ciénega*. *Revista Facultad de ingenierías*. Número 40, pp. 41-58.
- Chávez Porras, Á., Chrístancho Montenegro, D. L., & Ospina Granados, É. A. (enero- junio de 2009). *Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: Revisión bibliográfica*. *Revista Ingenierías Universitarias de Medellín*, Vol. 8(No. 14), pp. 39-50. Recuperado el 19 de octubre de 2015
- Chavarria-Martínez, D., Briceño-González, J., Negroe, A., Pérez-Cetina, J., Sánchez, T., & Hoil, R. (1992). *Diagnostico de la calidad del agua en la bahía de Chetumal Quintana Roo*.
- Chin Yu, L., & Delgado Blas, V. H. (2013). *Determinación de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) del Bipiridilo en poliquetos (Polychaeta: Nereididae)*. Chetumal.
- CNA. (2000). *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*. pp 124.
- Day, K. E., Scroggins, R. P., & Eisenhauer, R. P. (1988). *Biology in the New regulatory framework for aquatic protection*. Ottawa, Canadá.
- Delgado Blas, V. H., Hernández, H. A., & Kuk, J. G. (2011). *Distribución espacial y temporal de poliquetos (polychaeta: annelida) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo*. En V. H. Delgado Blas, J. S. Ortegón Aguilar, M. M. Vázquez González, A. González Damián, & J. Hernández Rodríguez, *Avances de ciencia y tecnología en Quintana Roo* (Primera edición ed., págs. 1-285). Chetumal, Quintana Roo, México: Plaza y Valdez S.A. de C.V. Recuperado el 27 de octubre de 2015

Diario Oficial de la Federación. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. *DOF*, págs. 1-7. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de <http://www.porcimex.org/NORMAS/NOM-003-ECOL-1997.pdf>

Díaz López, C., Carrión Jiménez, J. M., & González Bucio, J. L. (Marzo de 2006). Estudios de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de la sociedad Química del Perú*, 72(1). Recuperado el 2016 de Febrero de 18, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2006000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2006000100004&script=sci_arttext)

Diego A., C. C. (junio de 2007). *Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. Facultad de Ingeniería* (N.º 40), 41-58 pp.

El Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal. (ECOSUR) (2003). *El mar y los poliquetos*.

Escobar Malaver, P. M. (enero-junio de 2009). *Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando Daphnia pulex para la evaluación de muestras ambientales. Épsilon* (N.º 12), Pág. 115-133. Recuperado el 19 de Octubre de 2015

Espinoza, C. (2002). Bioensayos de toxicidad Aguda y Crónica con especies marinas de la costa. *Centro de Estudios y Gestión Ambiental*, Pág. 3.

Environmental Canada. (2000). *Biological test Method: reference Method for determining acute ethality of effluents to Daphnia magna*.

Flores Rodriguez, J. R., & Garcia Dominguez, J. (1988-2000). *Resumen de los estudios de la calidad del agua de la bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Reporte técnico, Chetumal. Recuperado el 27 de 02 de 2016

Iannacone, J., Dale, W., & Alvarino, L. (2000). Monitoreo ecotoxicológico del río Rímac (Lima-Perú) empleando a *Chironomus calligraphus goeldi* (Diptera: Chironomidae). *Rev. Chilena Ent.*, 25-34.

González-Escalante, L. E., y Salazar-Vallejo, S. I. (2003). *Una nueva especie de estuario, Nereis garwoodi (Polychaeta: Nereididae), desde Bahía de Chetumal, costa mexicana del Caribe. Revista De Biología Tropical, Vol. 51*(Num. 1). Recuperado el 23 de octubre de 2015, de: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s003477442003000100012&ing=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s003477442003000100012&ing=en&nrm=iso&tlng=en)

- González-Bucio, J. L., Carrión-Jimenez, J. M., Yam-Gamboa, O., & Díaz-López, C. (2008). Contaminación de la bahía de Chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales. *Revista Caos Conciencia*, México.
- J., I., y Alvariano, L. (2002). *Efecto del detergente doméstico Alquil aril sulfonato de sodio lineal (LAS) sobre la mortalidad de tres caracoles dulceacuícolas en el Perú*. Perú.
- Jiménez Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. D.F., México: Limusa, S.A. de C.V. Recuperado el 13 de Diciembre de 2015 de:  
[https://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&printsec=frontcover&dq=contaminaci%C3%B3n+ambiental+en+m%C3%A9xico&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&printsec=frontcover&dq=contaminaci%C3%B3n+ambiental+en+m%C3%A9xico&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true)
- Kinne, O. (1971). *Marine ecology*. Wiley Intersciencie, 1(Par. 2), 821-874
- Leal, H. E., Rocha, H. A., & Lema, J. M. (1997). *Acute toxicity of hardboard mill effluents to different bioindicators*. *Environ Toxicity water qual*, 39-42. Recuperado el 29 de octubre de 2015
- Llaños, M. A. (2006). *Efecto ecotoxicológica de los detergentes biodegradables en la trucha "Arco Iris" Oncorhynchus mykiss (Walbaum,1792), en el centro piscícola "El ingenio"-Huancayo*. Lima, Perú.
- López Martínez, L. M. (2009). *Determinación de la concentración letal media (CL<sub>50-48</sub>) del cloro en el efluente de una industria tipo mediante bioensayos de toxicidad acuática utilizando Daphnia pulex*. Bogotá.
- Malgrino, W., & Almeida, A. (1987). Estudio comparativo de acao tóxoca de um detergente biodegradável sobre Poecilia reticulata e Poecilia vivipara (Pises: Poecilidade). *Revista DAR.*, 86-91.
- Mariño-Balsa, J. C., Pérez, P., Estévez-Blanco, P., Saco-Álvarez, L., Fernández, E., y Beiras, R. (01 de marzo de 2003). *Evaluación de toxicidad de sedimentos y agua de mar contaminados por el vertimiento de fuel del Prestige, mediante el uso de bioensayos con las almejas Venerupis pullastra, Tappes decussatus y Venerupis rhomboideus y la microalga Skeletonema costatum*. *Ciencias Marinas*, Vol.29(núm. 1), pp. 115-122.
- Matuk-Velasco, V., Puerta-Quintero, G. I., & Rodríguez-Valencia, N. (1997). *Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café*. 234-252. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de:  
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048%2804%29234-252.pdf>

- Moscoso Calle, R. V. (2014). *Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de la planta potabilizadora del Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos*. (R. V. Moscoso Calle, Ed.) Cuenca, Ecuador. Recuperado el 27 de octubre de 2015
- Nishigaki, A., & Shibukawa, C. K. (2004). *Characterization and Determination of Linear Alkyl benzene sulfonates in Environmental Water Samples by High-Performance Liquid Chromatography with a Hydrophilic Polymer Column and Electrospray Ionization Mass Spectrometric Detection*. *Analyt. Scien*, 143-147.
- Peña, C., Carter, E., & Ayala, F. (2001). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. Arizona.
- Ortiz-Hernández, M. C., Carmona-De la Torre, J., & Flores-Rodríguez, J. R. (2009). Generación, manejo y destino de las aguas residuales de la ciudad de Chetumal: situación actual. En J. Espinoza Ávalos, G. A. Islebe, H. A. Hernández Arana, & J. Espinoza Ávalos (Ed.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: cosra occidental del Mar Caribe* (pág. 252). Chetumal, Othon P. Blanco, México. Recuperado el 15 de Febrero de 2016
- Ortíz, M. (1997). Estudio emergente sobre la mortalidad de Bagres en la bahía de Chetumal.
- Poot Angulo, L., y Delgado Blas, V. H. (2013). *Determinación de la toxicidad total del efluente de la Planta de Tratamiento Primer Centenario en la Región Lagunar Norponiente de Chetumal Q. Roo, mediante Oreochromis niloticus*. Chetumal, Mexico.
- Rand, G. (1995). *Fundamentals of aquatic toxicology. Effects, environmental fate, and risk assessment*. (2nd. ed.). Washington: Ed. Taylor & Francis. Rand, G. M. (1985). *Fundamentals of Aquatic Toxicology. Methods and applications*. Nueva York: Ed. Taylor and Francis.
- René, C. A. (03 de September de 2012). *Slideshare.net*. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de Slideshare.net: [http://es.slideshare.net/reneecapaza/rene-condori-apaza-actividad-toxicologica-de-la-fraccin-alcaloidea-de-los-tallos-de-la-jatropha-macrant-ha-m-arg-huanarpo-macho-en-artemia-salina-brine-shrimps?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/reneecapaza/rene-condori-apaza-actividad-toxicologica-de-la-fraccin-alcaloidea-de-los-tallos-de-la-jatropha-macrant-ha-m-arg-huanarpo-macho-en-artemia-salina-brine-shrimps?next_slideshow=1)
- Revistaambientum. (2002). *clasificación de aguas residuales industriales*. 1-3. Recuperado el 18 de octubre de 2015, de: [http://www.ambientum.com/revista/2002\\_22/CLSFCCNG1.asp](http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG1.asp)
- Riva, M. C., & López, D. (2001). *Impacto ambiental de los efluentes del proceso de blanqueo*

de algodón: *Parámetros Químicos y Biológicos. Boletín Intexter (U.P.C.)* (119), 51-57. Recuperado el 24 de octubre de 2015, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1724/TREBALL6.pdf?sequence1>

Sáenz-Morales , R., & Ortiz-Hernández, M. C. (1997). Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 423-434.

Sánchez, G. (2001). *Manual introductorio de Ecotoxicología acuática*. Informe instituto del Mar del Perú, Perú.

Sánchez, L. E.(2002). *Control de la contaminación*. Escola Politécnica da universidad de Sao Paulo, Departamento de engenharia de minas, São Paulo.

Stephan, C. E. (1977). *Methods for Calculating an LC<sub>50</sub>*. (F. L. Mayer, & J. L. Hamelink, Edits.) Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A.: In American Society for testing and Materials<ASTM> Aquatic Toxicology and Haxard Evaluation.

Uc Peraza, R. G., y Delgado Blas, V. H. (2012). *Determinación de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (webster 1879) (polychaeta: annelida)*. *Rev. Int. Contam. Ambie.*,28 (2): 137-144.

Uc-Peraza, R. G., y Delgado-Blas, V. H. (2015). *Acute toxicity and risk assessment of three commercial detergents the polychaeta *Capitella* sp. C from Chetumal Bay, Quintana Roo, México*. Chetumal, México. *International Aquatic Research*.7(4): 251-261  
Varela, R. (2005). *Determinación del nivel de toxicidad aguda del fungicida carbendazim y el herbicida 2,4 d mediante bioensayos con *Galaxias maculatus**. Chile.

Villamarin-Jiménez, S., Chacón-Castro, M. F., y Álvarez-León, R. (2013). *Pruebas de toxicidad aguda CL(I)<sub>50</sub> en peces estuarinos (*Gambusia affinis*) utilizando efluentes industriales a la bahía de Cartagena, Colombia*. *Biosalud*, Pag. 24-39.

Webster, H. (1879) *Annelida Chaetopoda of the Virginian coast*. N.Y.

Wu, B., Ruiping, S., & Yan, D. (1985). *El Nereidae (poliquetos anélidos) de la costa de China*. Springer, 234 p.

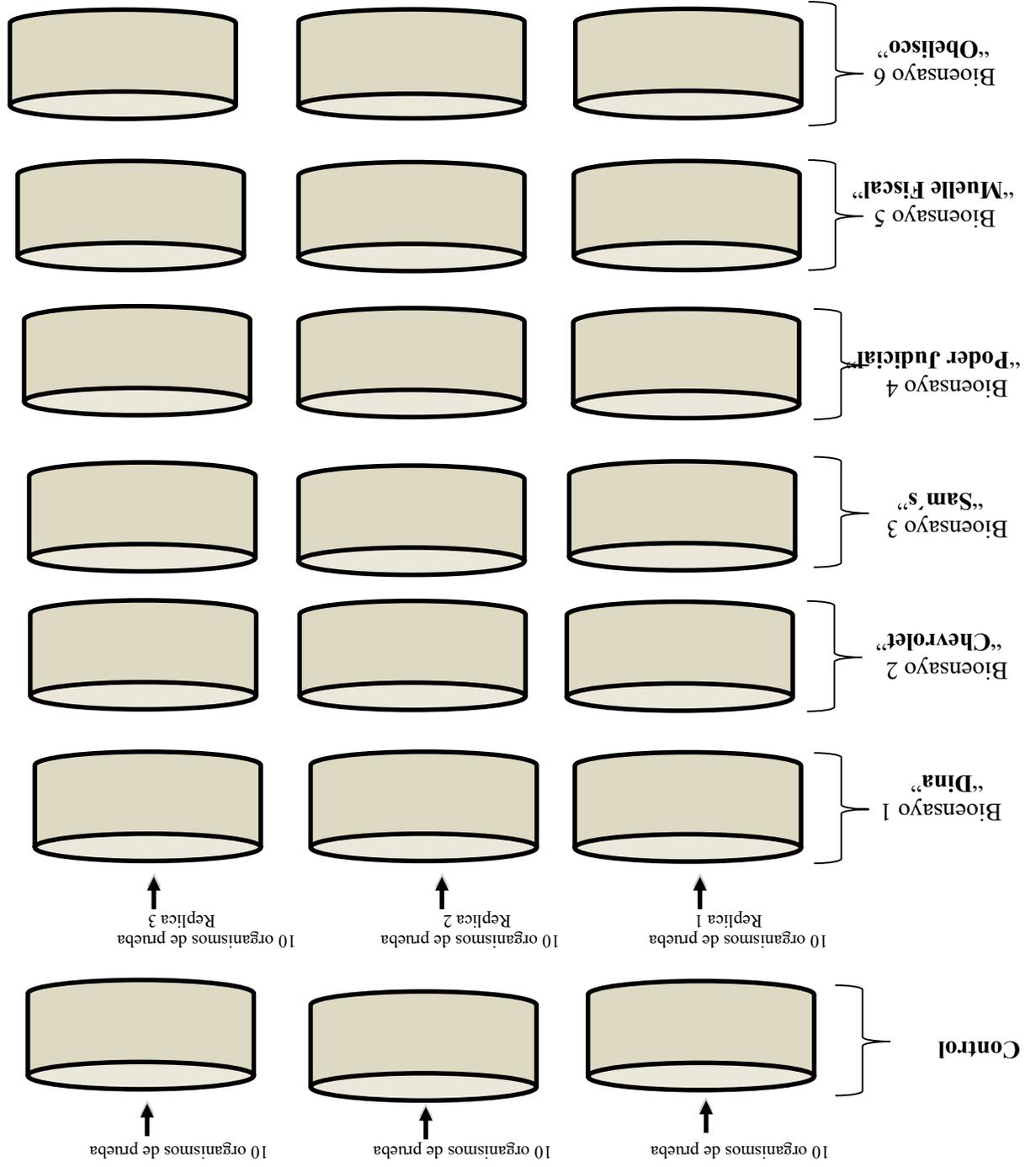


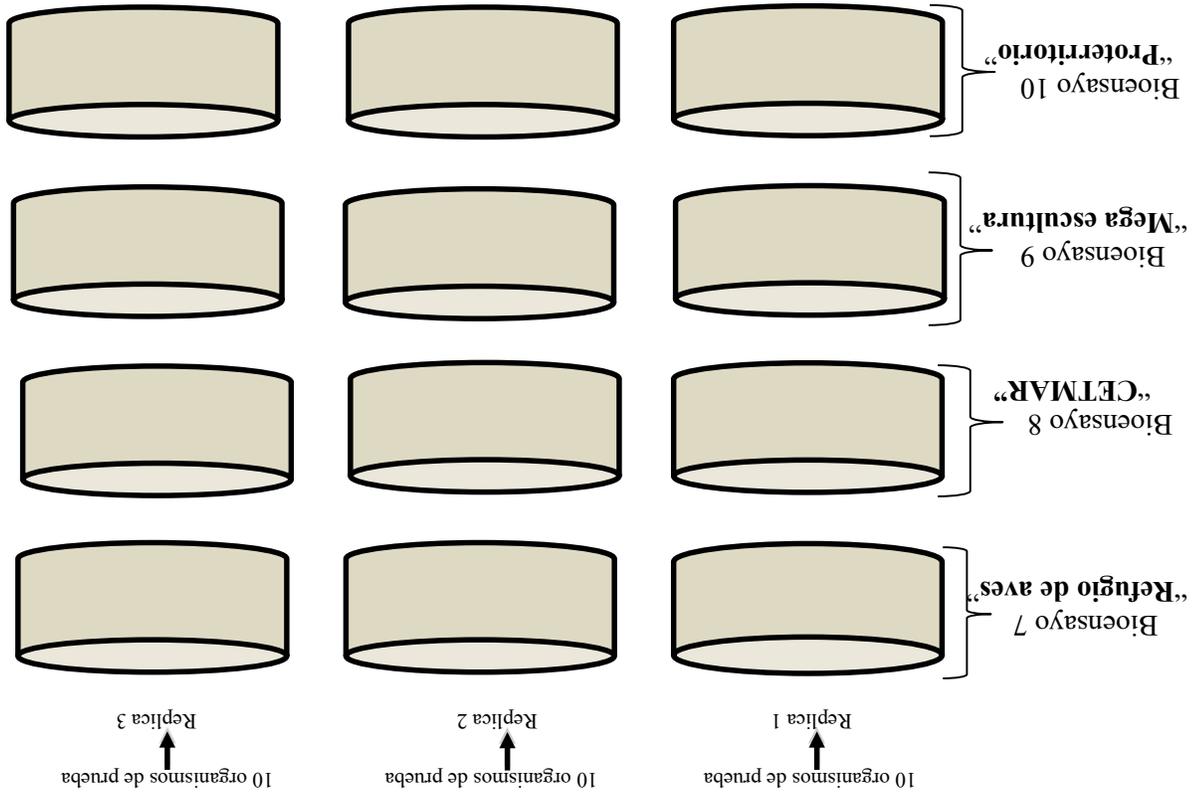
## Capítulo IX

# ANEXOS

# Anexo 1. Figuras de las baterías de los bioensayos exploratorios y definitivos

Figura 14. Batería de bioensayos exploratorios.





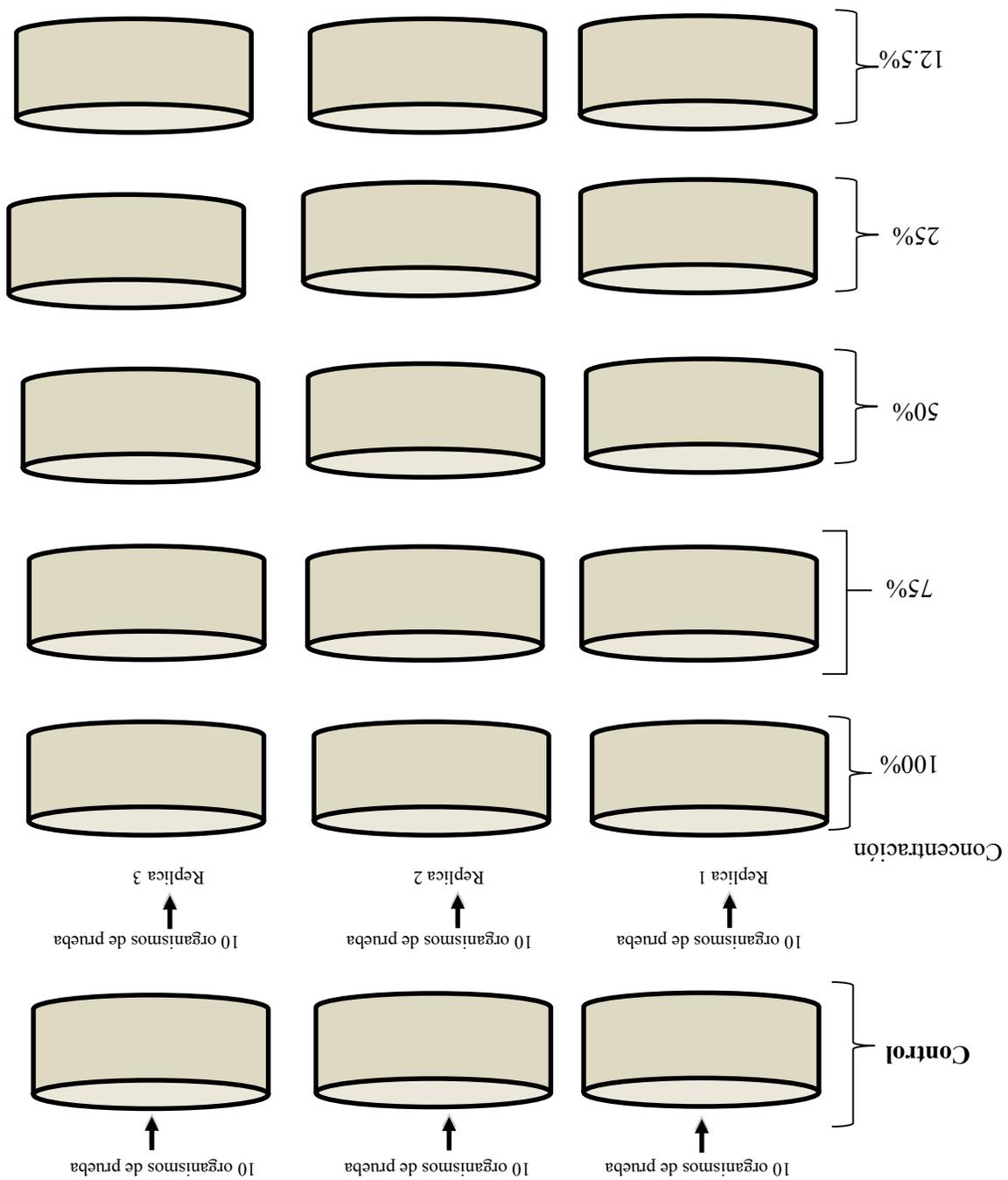


Figura 15. Batería para los bioensayos definitivos (Efluente Dina).



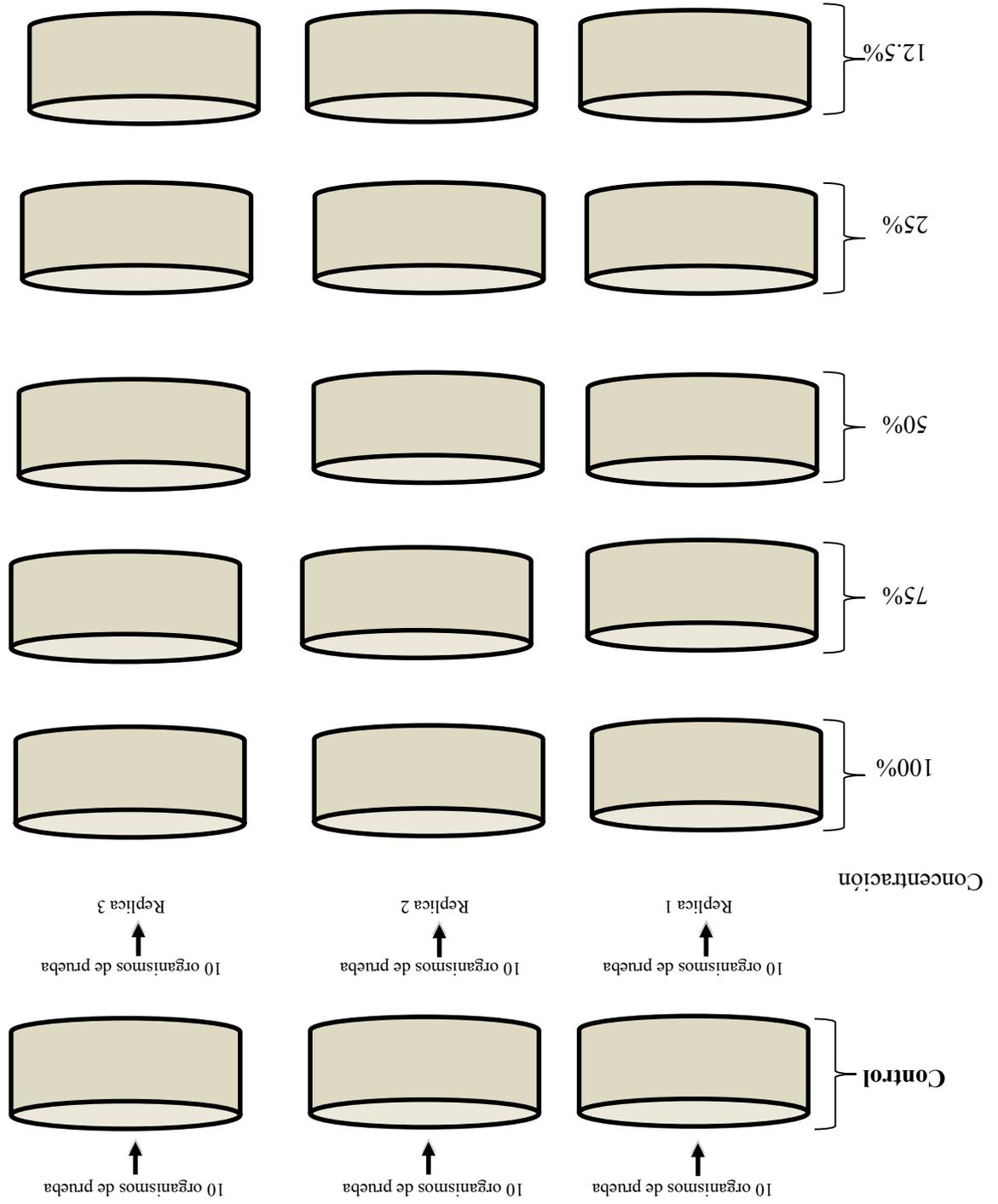
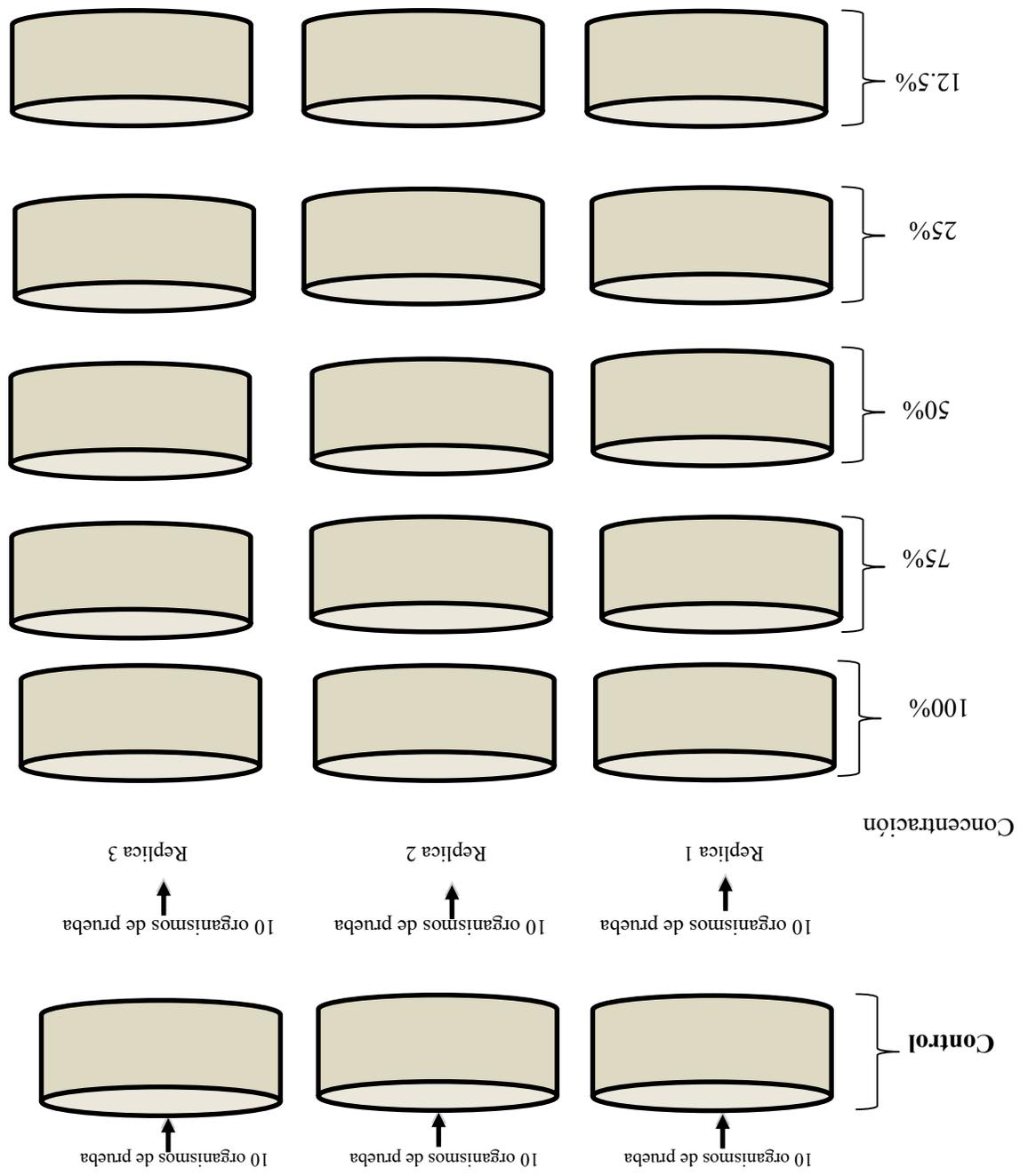


Figura 17. Bateria para los bioensayos definitivos (Efluente Sam's).

Figura 18. Batería para los bioensayos de organismos definitivos (Efluente Poder Judicial).



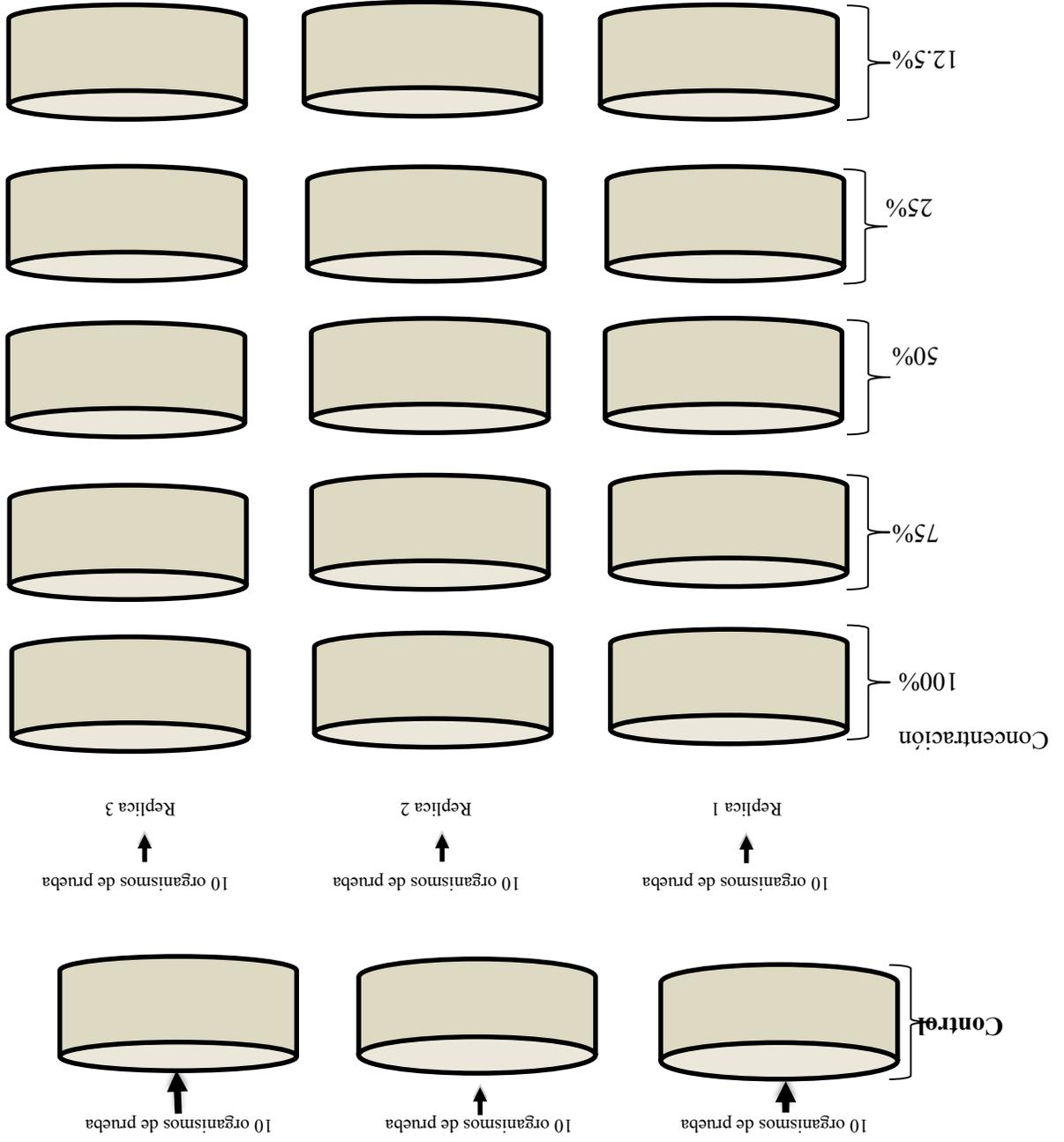


Figura 19. Bateria para los bioensayos definitivos (EfFuente Muelle Fiscal).

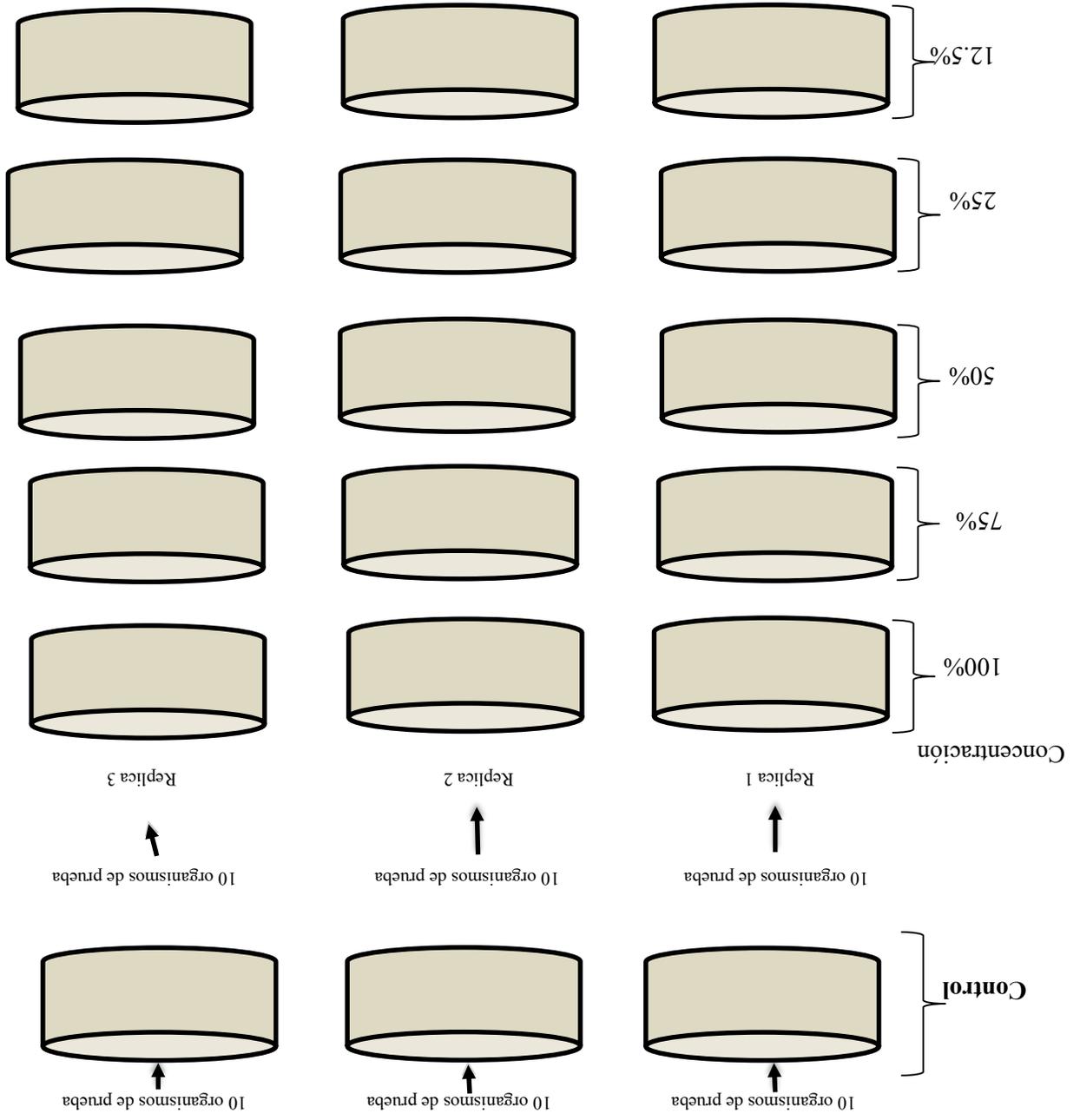


Figura 20. Bateria para los bioensayos definitivos (Efluente Mega escultura).

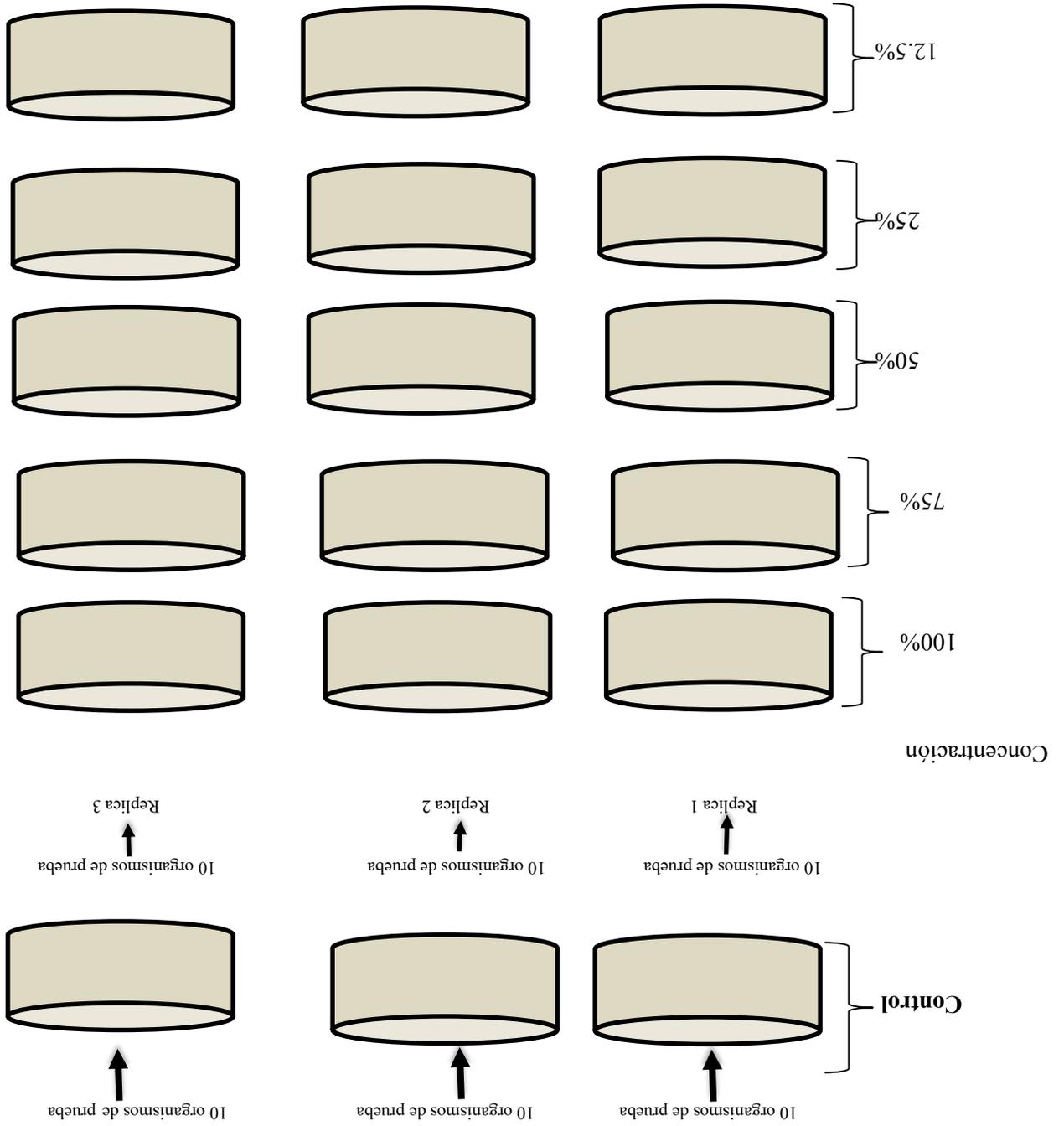


Figura 21. Bateria para los bioensayos definitivos (Efluente CETMAR).

## Anexo 2. Tablas de la mortandad y parámetros físico-químicos obtenidos de los bioensayos exploratorios y definitivos

**Tabla 16.** Mortalidad registrada en los bioensayos exploratorios con *Laonereis culveri* con los diez efluentes a 96 h.

Control.													Muertos	Vivos
Réplica/Hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Bioensayo 1 "Dina"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	7	3
2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	4	6
3	0	0	0	0	0	1	3	0	1	0	0	1	6	4
Bioensayo 2 "Chevrolet"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	1	4	6
2	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	2	8	2
3	0	0	0	0	2	3	3	3	1				10	0
Bioensayo 3 "Sam´s"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	6	4
2	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	1		7	3
3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	5	5
Bioensayo 4 "Poder Judicial"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	5	5
2	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4			10	0
3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	4	6
Bioensayo 5 "Muelle Fiscal"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	1	2	8	2
2	0	0	0	0	2	0	0	1	1	1	1	1	7	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	9	1
Bioensayo 6 "Obelisco"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	2	9	1
2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	4	6
3	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	5	5
Bioensayo 7 "Refugio de aves"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	4	6
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	3	7
3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	4	6
Bioensayo 8 "Mega escultura"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	4	6
2	0	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	5	5
3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	6	4
Bioensayo 9 "Muelle CETMAR"														
Réplica hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	1	0	1	1	2	1	1	3	0	10	0
2	0	0	0	0	1	0	1	1	2	0	1	1	7	3
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	6	4
Bioensayo 10 "Canal de Proterritorio"														
Réplica /hora	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	8
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9

**Tabla 17.** Parámetros físico-químicos de los bioensayos exploratorios con *Laeonereis culveri* con los diez efluentes a 96 horas.

Réplica	Salinidad(‰)			Temperatura(°C)			Oxig. Dis. (mg/L)			pH		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Control												
Réplica No.1	7	0.1	19.5	19.6	20.9	21.6	3.29	21.57		7.39	7.27	7.2
Bioensayo 1												
Réplica No.1	2	0.3	3.63	20.6	21.46	21.8	3.33	20.34	3.5	7.8	7.13	7.3
Réplica No 2	2	0.38	3.74	20.6	21.3	21.8	3.46	21.46	5.3	7.23	7.29	7.3
Réplica No 3	2	2.34	3.74	20.4	21.4	21.9	2.9	21.43	1.9	7.23	7.29	7.3
Bioensayo 2												
Réplica No.1	2	0.81	3.65	20.7	21.2	21.7	3.63	21.46	4	7.07	7.43	7.3
Réplica No 2	2	0.41	3.81	20.5	21.3	21.7	3.54	21.48	3.9	7.15	7.42	7.3
Réplica No 3	2	0.44	3.65	20.8	21.4	22.1	3	21.49	3.7	7.23	7.39	7.2
Bioensayo 3												
Réplica No.1	4.32	0.22	4.56	20.3	21.8	21.3	3.93	22.11	21.8	7.4	7.25	7.4
Réplica No 2	4.34	0.52	4.82	19.8	21.9	21.7	3.79	22.11	18.9	7.43	7.16	7.2
Réplica No 3	10.02	0.78	6.65	20.9	21.5	21.1	3.88	22.12	17.3	7.19	7.25	7.1
Bioensayo 4												
Réplica No.1	6.47	0.04	5.89	19.7	21.1	20.6	3.84	21.66	19.4	7.37	7.3	7.3
Réplica No 2	6.39	0.23	4.92	19.7	21.3	20.8	3.95	21.75	19	7.32	7.32	7.3
Réplica No 3	10.22	1.61	8.62	19.3	21.6	20.5	3.66	21.75	20.2	7.31	7.32	7.3
Bioensayo 5												
Réplica No.1	2.6	0.36	3.9	19.2	21.5	21.3	3.27	21.83	22.4	6.92	7.4	7.2
Réplica No 2	2.92	1.21	3.11	19	21.4	21.1	3.66	21.85	20.4	7.11	7.3	7.1
Réplica No 3	3.13	0.5	3.17	21.4	21.6	21.3	3.89	21.85	21.6	7.22	7.32	7.3
Bioensayo 6												
Réplica No.1	11.4	11.52	11.9	20.9	21.3	21.1	3.2	3.6	3.7	7.66	7.52	7.6
Réplica No 2	11.45	11.28	11.1	20.4	21.4	21.7	3.7	3.4	3.8	7.8	7.6	7.7
Réplica No 3	11.38	11.24	11.4	20.3	20.1	20.4	3.5	3.8	4.2	7.82	7.79	7.8
Bioensayo 7												
Réplica No.1	15.41	15.38	15.3	20.5	20.4	20.6	7.8	7.61	8.4	7.68	7.72	7.9
Réplica No 2	15.22	15.46	15.6	20.5	20.3	20.7	9.4	11.7	10.8	7.72	7.79	7.8
Réplica No 3	15.84	15.81	16.4	20.7	21.3	20.6	11.23	11.49	10.3	7.72	7.68	7.9
Bioensayo 8												
Réplica No.1	4.72	5.18	5.22	20.5	20.9	20.8	8.2	7.41	9.3	7.84	7.6	7.9
Réplica No 2	5.82	5.64	5.1	20.4	20.8	20.4	11.53	10.29	10.9	7.97	7.94	8
Réplica No 3	5.91	5.57	5.65	20.5	20.7	20.6	12.47	11.72	11.2	8	7.63	7.8
Bioensayo 9												
Réplica No.1	4.48	4.59	4.93	20.5	20.4	20.8	11.53	11.28	10.1	7.94	7.86	7.9
Réplica No 2	4.31	4.2	4.87	20.5	20.6	20.6	6.4	5.9	5.7	7.98	7.74	7.9
Réplica No 3	6.43	5.92	5.04	20.3	20.7	20	8.94	8.39	7.1	7.94	7.91	7.9
Bioensayo 10												
Réplica No.1	12.67	12.72	11.3	20.6	20.9	21.3	12.67	12.72	11.3	7.72	7.71	7.8
Réplica No 2	12.87		7.75	20.5	20.7	21.4	12.87	11.39	11.4	7.75	7.74	7.8
Réplica No 3	20.6	20		20.6	20.9	21.3	11.84	11.73	12.1	7.76	7.79	7.7

**Tabla 18.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Dina con *Laonereis culveri* 96 h.

Dina	Tiempo de exposición (horas)												Muertos	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
R Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3	7
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2	0	1	6	4
Réplica No. 3	0	0	1	0	1	2	1	0	0	1	0	0	6	4
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2	1	6	4
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3	7
Réplica No. 3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	4	6
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	7
Réplica No. 2	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	4	6
Concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5	5
Réplica No. 2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3	7
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	8
Concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	8
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

**Tabla 19.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Dina.

Dina	Parámetros Físico-Químicos															
	Salinidad (‰)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	8.78	8.75	8.82	8.72	5.7	5.75	5.4	5.61	6.8	6.79	6.8	6.63	22.3	22.8	23.4	22.4
Réplica No. 2	8.18	8.3	8.12	8.33	5.21	5.19	5.3	5.26	7.1	7.3	7.2	7.2	22.5	22.7	22.9	22.8
Réplica No. 3	6.3	6.5	5.93	6.49	7.8	7.92	7.74	7.86	7.3	7.45	7.2	7.5	22.7	23	22.8	23
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	11.1	10.9	11.3	11.3	5.2	5.8	5.6	5.4	7.3	7.5	7.3	7.26	22.9	23.5	23.1	23
Réplica No. 2	13	13.1	12.9	13.1	5.27	5.38	5.22	5.3	7.6	7.52	7.7	7.5	22.9	22.7	23	23.2
Réplica No. 3	16.8	16.8	15.8	15.9	5.58	6.25	6.13	5.72	7.6	7.7	7.5	7.74	22.8	23	22.5	23.2
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	9.95	10.2	9.87	10.3	5.02	5.28	4.88	4.9	7.5	7.64	7.5	7.53	22.8	23.2	23	22.9
Réplica No. 2	16.2	16.3	15.8	16.4	5.28	5.4	5.2	5.37	7.6	7.65	7.5	7.6	23	22.8	23.1	23
Réplica No. 3	17.8	18	17.5	17.6	5.78	5.93	5.7	5.65	7.5	7.5	7.6	7.58	23.1	23	22.9	23.2
Concentración 25 %																
Réplica No. 1	1.8	2.2	1.7	2	5.28	5.49	5.3	5.27	7.5	7.52	7.6	7.59	22.8	23.3	23	22.9
Réplica No. 2	1.4	1.52	1.38	1.3	4.9	5.3	5.1	5	7.6	7.7	7.6	7.73	22.6	22.9	22.3	23
Réplica No. 3	1.3	1.5	1.25	1.43	4.9	5.3	4.83	5.1	7.8	7.64	7.8	7.6	22.8	22.6	23	22.9
Concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	2.4	2	2.37	2.46	5.3	5.6	5.34	5.49	7.7	7.64	7.7	7.6	22.8	23.1	22.7	23
Réplica No. 2	1.8	2.1	2.04	2.19	5.3	5.38	5.1	5.26	7.7	7.63	7.7	7.69	22.9	22.7	23	23.2
Réplica No. 3	0.1	0.4	0.21	0.33	9.1	8.7	8.5	9.2	7.6	7.41	7.5	7.63	22.9	22.7	23	22.8

**Tabla 20.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Chevrolet con *Laonereis culveri* 96 h.

Chevrolet	Tiempo de exposición (horas)												Muertos	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	1	2	10	0
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	2	9	1
Réplica No. 3	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	2	10	1
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	2	8	2
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	8	2
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	2	0	1	1	2	1	1	8	2
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	3
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	6	4
Réplica No. 3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	6	4
concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5	5
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	7
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	4	6
concentración 12,5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	7
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	8
Réplica No. 3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	7

**Tabla 21.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Chevrolet.

Chevrolet	Parámetros físico-químicos															
	Salinidad (‰)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	12	12.8	12.1	12.3	5.2	5	4.8	5.4	7.6	7.4	7.7	7.5	22.4	22.6	22.9	22.3
Réplica No. 2	6.9	7.2	6.7	7	5.4	5.8	5.2	5.7	7.7	7.9	7.6	7.7	22.4	22.9		22.4
Réplica No. 3	9.5	9.8	9.9	9.7	5.8	5.6	5.5	5.7	7.5	7.3	7.8	7.7	22.5	22.9	23	22.7
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	16	16.4	15.3	15.3	5.4	5.2	5.7	5.1	7.8	7.6	7.8	7.7	22.2	23	22.6	22.9
Réplica No. 2	18	17.5	17.7	17.4	5.2	5.1	5.5	5	7.6	7.3	7.5	7.7	22.3	22.7	21.9	23
Réplica No. 3	14	14.5	14.2	13.8	5.1	5	5.4	5.2	7.5	7.9	7.7	7.4	22.3	22.7	22.1	22.4
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	13	13.6	12.7	12.3	5	5.7	5.1	4.9	7.5	7.4	7.8	7.6	22.2	22.6	22.8	22.4
Réplica No. 2	13	13.4	12.8	13.2	5	5.3	5.1	5.4	7.6	7.8	7.7	7.7	22.2	22.4	22.7	22
Réplica No. 3	13	13.8	13.6	13	5	5.7	5.9	5.8	7.7	7.8	7.8	7.6	22.4	22.7	22.1	22.5
concentración 25 %																
Réplica No. 1	12	12.7	12.2	13	5.2	4.8	5.1	5.3	7.7	7.5	7.6	7.8	22.2	22.6	22.7	22.4
Réplica No. 2	18	18.7	18.4	18.2	5.4	5.6	5.5	5.2	7.7	7.4	7.5	7.6	22.1	22.5	22.6	22
Réplica No. 3	19	19.9	19.5	19.7	5.3	5.6	5.1	5.4	7.6	7.7	7.4	7.7	22.1	22.4	22.7	22
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	20	18.9	19.3	19.5	9.3	8.7	9	8.8	7.6	7.7	7.9	7.5	22.1	22.7	23	22.5
Réplica No. 2	19	19.2	18.9	19	5.2	5.7	5.3	5.5	7.7	7.5	7.6	7.9	22	22.5	22.8	22.3
Réplica No. 3	19	19	19.3	19.4	5.3	5.6	5.7	5.2	7.7	7.5	7.4	7.5	22	22.4	22.5	21.7

**Tabla 22.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Sam's con *Laonereis culveri* 96 h.

Sam's	Tiempo de exposición (horas)												Muertos	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	2	9	1
Réplica No. 2	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	9	1
Réplica No. 3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	0	1	2	1	1	1	1	8	2
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7	3
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	8	2
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	6	4
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	6	4
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	1	6	4
concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	4	6
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	4	6
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	4	6
concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	8
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	8
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	8

**Tabla 23.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente de la Sam's.

Sam's	Parámetros físico-químicos															
	Salinidad (‰)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	8.3	8.7	8.6	8.4	7.2	7.7	7.5	7.7	7.8	7.8	7.6	7.4	22.6	22.8	22.4	23
Réplica No. 2	8.9	9.3	9.1	9	5.1	5.3	5.6	5.9	7.6	7.8	7.6	7.3	22.7	23	23.4	23.1
Réplica No. 3	7.9	8.2	8	8.1	4.9	5	5.3	5.1	7.6	7.6	7.7	7.5	22.8	22.9	30	22.8
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	14.8	14.6	15.2	14.7	4.9	5.2	5	5.4	7.5	7.5	7.4	7.6	22.7	23.1	22.8	23
Réplica No. 2	17.6	17.4	17.9	17.5	4.9	5.3	5	5.1	7.5	7.5	7.6	7.5	22.7	22.9	22.6	22.8
Réplica No. 3	18.9	19.2	19	19.1	4.8	5	5.1	4.8	7.5	7.7	7.7	7.7	22.8	30	22.9	30
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	15.3	15	15.2	15.5	4.6	4.8	5.3	5.1	7.4	7.6	7.7	7.6	22.7	22.9	22.7	23.2
Réplica No. 2	19.7	19.9	19.7	19.8	4.6	5	4.9	4.8	7.4	7.6	7.7	7.7	22.6	22.9	22.8	22.9
Réplica No. 3	19.1	19.4	19.3	19.2	4.5	4.7	4.5	4.4	7.4	7.5	7.4	7.4	22.7	22.8	22.8	22.7
concentración 25 %																
Réplica No. 1	13.2	13.5	12.8	13.1	4.4	4.6	4.5	4.4	7.5	7.7	7.4	7.8	22.6	23	22.8	22.9
Réplica No. 2	13.1	12.8	13.5	13.2	4.5	4.4	4.5	4.6	7.6	7.3	7.5	7.4	22.6	22.9	23	23.1
Réplica No. 3	12.3	12.7	12.5	12.3	4.7	4.8	4.7	4.6	7.6	7.7	7.7	7.6	22.6	22.8	22.6	22.7
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	15.7	15.2	15.8	15.7	4.7	5	4.6	5.3	7.6	7.6	7.5	7.6	22.6	22.4	22.3	22.5
Réplica No. 2	15.1	14.8	15.2	14.9	4.6	4.8	4.5	4.7	7.6	7.6	7.8	7.6	22.7	22.9	22.9	22.8
Réplica No. 3	19.8	19.9	19.9	19.7	4.6	4.7	4.9	5.2	7.7	7.9	7.7	7.8	22.6	22.9	22.7	22.8

**Tabla 24.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Poder judicial con *Laeonereis culveri* 96 h.

Poder Judicial	Tiempo de exposición (horas)												Muerto	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	1	0	1	1	2	0	1	2	1	9	1
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	10	0
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	2	1	2	1	2	1	1	10	0
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	8	2
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	8	2
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	3
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	8	2
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5	5
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5	5
concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	6	4
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3	7
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	7
concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3	7
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	8
Réplica No. 3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	8

**Tabla 25.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Poder Judicial.

Poder Judicial	Parámetros físico-químicos															
	Salinidad (%)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	8.3	8.6	8.5	8.3	8.2	8.5	8.5	8.4	7.5	7.5	7.5	7.6	24.3	24.5	24.2	24.4
Réplica No. 2	6.5	6.7	6.5	6.5	7.9	8.3	8	8.1	7.5	7.6	7.4	7.6	24.6	24.8	24.8	24.9
Réplica No. 3	6.1	6.5	6.3	6.2	7.5	7.4	7.8	7.6	7.5	7.6	7.7	7.6	24.6	24.8	24.7	24.8
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	10.6	10.6	10.7	10.6	8.2	8.3	8.1	8.5	7.5	7.6	7.5	7.4	24.2	24.3	24.1	24.5
Réplica No. 2	10.9	11.2	11	11.4	8.1	8.4	8.3	8.3	7.4	7.5	7.6	7.5	24.2	24.5	24.3	24.2
Réplica No. 3	12.3	12.1	12.5	12.2	7.9	8.2	8.3	8	7.5	7.4	7.4	7.5	24.3	24.6	24.7	24.7
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	15.5	15.7	15.4	15.8	7.9	8.2	8.4	8	7.4	7.6	7.5	7.4	24.2	24.4	24.2	24.3
Réplica No. 2	14.5	14.7	14.5	14.4	7.9	7.8	7.8	7.7	7.5	7.5	7.4	7.5	24.2	24.5	24.3	24.6
Réplica No. 3	13.8	13.9	13.7	13.9	8	7.8	8.2	8.3	7.5	7.4	7.4	7.4	23.8	23.9	23.9	23.9
concentración 25 %																
Réplica No. 1	19	19.7	19.4	19.5	8.3	8.7	8.4	8.2	7.6	7.5	7.5	7.5	24	24.8	24.5	24.2
Réplica No. 2	19.7	19.9	19.7	19.8	8.2	8.7	8.5	8.4	7.6	7.7	7.7	7.7	23.7	24.1	24.3	24.2
Réplica No. 3	18.4	18.9	18.6	18.8	8.1	8.6	8.3	8.5	7.8	7.8	7.8	7.7	23.7	24.3	23.8	24
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	19.3	19.9	19.6	19.3	8.2	8.6	8.3	8.4	7.7	7.6	7.6	7.5	24.3	24.8	24.6	24.5
Réplica No. 2	19.3	19.9	19.4	19.5	8.4	8.7	8.2	8.5	7.8	7.7	7.7	7.6	24.3	24.9	24.7	24.5
Réplica No. 3	19.9	19.8	19.7	19.9	8.2	8.7	8.3	8.5	7.8	7.7	7.7	7.7	24.6	24.9	24.4	24.7

**Tabla 26.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Muelle fiscal con *Laeonereis culveri* 96 h.

Muelle F.	Tiempo de exposición (horas)												Muerto	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	2	3	2	2	0	0	0	10	0
Réplica No. 2	0	0	0	0	2	3	3	2	0	0	0	0	10	0
Réplica No. 3	0	0	0	0	2	1	2	3	2	0	0	0	10	0
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	1	1	1	1	2	1	0	0	1	1	1		10	0
Réplica No. 2	0	1	1	0	1	1	0	2	2	2	0	0	10	0
Réplica No. 3	0	0	0	1	1	2	2	2	1	1			10	0
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	9	1
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	6	4
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	9	1
concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	3
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	5	5
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	2	6	4
concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	5	5
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	4	6
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	4	6

**Tabla 27.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Muelle Fiscal.

Muelle Fiscal	Parámetros Físico-químicos															
	Salinidad (‰)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	6.2	6.1	6	6.1	7.7	7.9	7.6	7.8	7.8	7.7	7.6	7.7	24.3	24.6	24.8	24.5
Réplica No. 2	7.5	7.2	7.4	7.3	7.7	7.9	8	8.2	7.5	7.6	7.4	7.5	24.5	24.7	24.8	24.3
Réplica No. 3	6.2	6.1	6.3	6.1	7.8	8.2	8	8.1	7.8	7.7	7.6	7.7	24.5	24.8	24.6	24.5
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	5.8	6.3	6.1	6.2	6.8	7.2	7.1	7.4	7.7	7.5	7.5	7.5	24.4	24.7	24.6	24.6
Réplica No. 2	10	10.6	10.3	10.5	7.3	7.8	7.4	7.6	7.6	7.8	7.6	7.6	24.4	24.7	24.6	24.7
Réplica No. 3	16	16	16.3	16.1	8.1	8	7.9	8.1	7.5	7.5	7.5	7.5	24.6	24.9	24.7	24.5
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	14	14.5	14.2	14.1	6.5	6.9	6.7	6.5	7.6	7.6	7.6	7.7	24.5	24.8	24.7	24.9
Réplica No. 2	13	13.4	12.9	13.2	6.3	6.7	6.3	6.1	7.6	7.5	7.5	7.6	24.5	24.7	24.6	24.6
Réplica No. 3	14	13.8	13.6	13.5	6.3	6.1	6	6.2	7.6	7.5	7.5	7.6	24.4	24.7	24.6	24.6
concentración 25 %																
Réplica No. 1	19	19.1	18.7	19.2	6.4	6.8	6.5	6.9	7.6	7.6	7.5	7.5	24.4	24.8	24.7	24.7
Réplica No. 2	20	19.9	19.9	19.9	6.4	6.9	6.7	6.4	7.6	7.6	7.5	7.6	24.3	24.9	24.6	24.5
Réplica No. 3	18	19.2	18.5	18.4	6.5	6.9	6.4	6.8	7.6	7.5	7.5	7.5	24.3	24.9	24.7	24.5
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	20	19.7	19.8	19.9	6.7	7.1	6.9	6.8	7.7	7.6	7.6	7.7	24.6	24.9	24.4	24.7
Réplica No. 2	20	19.9	19.6	19.8	6.7	7.2	7	6.8	7.7	7.6	7.5	7.6	24.6	24.9	24.5	24.7
Réplica No. 3	18	19.1	19.3	19	6.56	7.1	6.4	6.8	7.6	7.5	7.5	7.5	24.5	24.9	24.7	24.5

**Tabla 28.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente Mega escultura con *Laeonereis culveri* 96 h.

Mega Escultura	Tiempo de exposición (horas)												Muerto	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2	1	1	8	2
Réplica No. 2	0	0	0	0	2	3	3	2	0	0	0	0	10	0
Réplica No. 3	0	0	0	0	2	1	2	1	1	0	0	0	7	3
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	1	1	1	1	2	1	0	0	1	1	1	0	10	0
Réplica No. 2	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	6	4
Réplica No. 3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	8	2
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3	7
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	8
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9
concentración 25 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	1	1	0		0	0	0	2	8
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9
concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	8
Réplica No. 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9

**Tabla 29.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente Mega escultura.

Mega escultura	Parámetros físico-químicos															
	Salinidad (%)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica a No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	4.6	4.5	4.5	4.4	7.7	7.9	7.8	8	7.8	7.7	7.7	7.6	24.4	24.8	24.7	24.7
Réplica No. 2	4.5	4.4	4.6	4.3	6.8	6.7	6.7	6.6	7.7	7.6	7.6	7.5	24.4	24.3	24.6	24.1
Réplica No. 3	5.1	4.8	4.9	4.7	7.5	7.9	7.6	7.7	7.7	7.6	7.5	7.6	24.4	24.7	24.5	24.8
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	5.6	5.8	5.7	5.6	6.7	6.9	7	7.1	7.4	7.5	7.4	7.6	24.3	24.7	24.6	24.7
Réplica No. 2	7.8	8.2	8.1	7.9	6.3	6.7	6.2	6.4	7.5	7.5	7.6	7.5	24.2	24.6	24.5	24.7
Réplica No. 3	9	8.8	9.3	8.9	7.2	7.5	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6	24.1	24.8	24.6	24.7
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	13.3	13.7	13.5	13.5	5.8	5.4	5.6	5.5	7.5	7.7	7.5	7.6	24	24.3	24.2	24.5
Réplica No. 2	14.2	14.7	14.5	14.8	6.2	6.7	6.4	6.5	7.5	7.6	7.6	7.5	24.1	24.6	24.4	24.5
Réplica No. 3	12.8	13.2	13	13.3	7.1	7.8	7.3	7.1	7.5	7.5	7.6	7.6	24	24.7	24.5	24.2
concentración 25 %																
Réplica No. 1	19.1	19.6	19.4	19.3	6.2	6.8	6.3	6.2	7.5	7.6	7.6	7.7	24	24.5	24.1	24.3
Réplica No. 2	19.7	19.8	19.9	19.7	6.4	6.9	7.1	6.7	7.6	7.5	7.5	7.5	24	24.7	24.5	24.3
Réplica No. 3	12.3	12.8	12.5	12.7	6.4	6.7	6.2	6.5	7.6	7.4	7.5	7.7	24	23.8	24.3	24.1
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	19.9	19.8	19.5	19.7	6.8	7.3	7.1	7	7.6	7.7	7.7	7.5	24	24.6	24.7	24.4
Réplica No. 2	19.9	19.9	19.9	19.8	6.4	6.9	6.1	6.6	7.7	7.7	7.7	7.7	24.1	24.7	24.4	24.2
Réplica No. 3	19.8	19.9	19.6	19.7	7	7.4	7.1	7.2	7.7	7.6	7.6	7.6	24.3	24.7	24.5	24.5

**Tabla 30.** Mortalidad obtenida con el bioensayo definitivo del efluente CETMAR con *Laonereis culveri* 96 h.

CETMAR	Tiempo de exposición (horas)												Muerto	Vivos
	1	2	4	8	18	24	36	48	60	72	84	96		
Control														
Réplica No. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Concentración 100 %														
Réplica No. 1	0	0	0	1	1	2	1	1	0	2	1	1	10	0
Réplica No. 2	0	0	0	0	2	1	1	1	0	2	1	2	10	0
Réplica No. 3	0	0	0	0	2	1	1	2	1	1	1	1	10	0
Concentración 75 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	1	1	8	2
Réplica No. 2	0	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	1	9	1
Réplica No. 3	0	0	0	0	1	1	0	2	0	2	1	1	8	2
Concentración 50 %														
Réplica No. 1	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	0	7	3
Réplica No. 2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	2	6	4
Réplica No. 3	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	7	3
concentración 25 %														
Réplica a No. 1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	5	5
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1	1	6	4
Réplica No. 3	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	1	6	4
concentración 12.5 %														
Réplica No. 1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	5	5
Réplica No. 2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	3	7
Réplica No. 3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	4	6

**Tabla 31.** Parámetros físico-químicos de la prueba de toxicidad con el efluente CETMAR.

CETMAR	Parámetros físico-químicos															
	Salinidad (‰)				Oxígeno Dis. (mg/L)				pH				Temperatura(°C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Control																
Réplica No. 1	8.69	8.75	8.72	8.74	5.77	5.34	5.59	5.43	6.79	6.58	6.47	6.68	22.4	22.5	22.2	22.3
Concentración 100 %																
Réplica No. 1	6.5	6.6	6.4	6.7	6.4	6.8	6.6	7.5	7.8	7.7	7.7	7.5	24.5	24.8	24.6	24.7
Réplica No. 2	9.8	9.6	9.8	9.7	6.5	6.9	6.5	6.8	7.7	7.6	7.8	7.6	24.6	24.9	24.7	24.6
Réplica No. 3	6.3	6.5	6.7	6.5	6.5	6.9	6.7	6.3	7.7	7.5	7.5	7.6	24.6	24.9	24.7	24.6
Concentración 75 %																
Réplica No. 1	10.8	11.2	11	10.9	6.8	7.2	7.1	6.9	7.5	7.5	7.4	7.5	24.6	24.6	24.9	24.7
Réplica No. 2	11.2	11.7	11.4	11.6	6.6	6.9	6.7	6.5	7.6	7.57	7.6	7.7	24.5	24.9	24.6	24.7
Réplica No. 3	13.3	13.7	13.5	13.6	6.7	6.9	7.2	7.3	7.6	7.7	7.6	7.6	24.5	24.8	24.6	24.9
Concentración 50 %																
Réplica No. 1	15	15.2	14.8	15.2	6.8	7.3	7.1	6.9	7.5	7.6	7.6	7.6	24.6	24.7	24.5	24.6
Réplica No. 2	13.6	13.7	13.4	13.5	6.8	6.9	7.1	7	7.6	7.7	7.8	7.7	24.5	24.8	24.6	24.7
Réplica No. 3	12.3	12.5	12.3	12.6	6.3	6.8	6.5	6.7	7.6	7.7	7.5	7.6	24.5	24.7	24.6	24.7
concentración 25 %																
Réplica No. 1	19.9	19.6	19.9	19.7	7.3	7.9	7.6	7.5	7.6	7.7	7.7	7.5	24.5	24.7	24.4	24.9
Réplica No. 2	19.9	19.9	19.9	19.9	7.2	7.6	7.3	7.5	7.6	7.6	7.5	7.7	24.6	24.9	24.7	24.8
Réplica No. 3	19.9	19.7	19.9	19.9	6.9	7.2	7.4	7.3	7.6	7.5	7.5	7.6	24.6	24.9	24.7	24.7
concentración 12.5 %																
Réplica No. 1	19.9	19.9	19.9	19.9	7.2	7.9	7.5	7.7	7.6	7.6	7.7	7.5	24.5	24.8	24.7	24.7
Réplica No. 2	19.9	19.7	19.8	19.9	7.3	7.8	7.5	7.4	7.7	7.7	7.6	7.6	24.5	24.8	24.7	24.7
Réplica No. 3	19.9	19.9	19.9	19.9	7.7	7.9	7.8	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	24.5	24.8	24.7	24.7

### Anexo 3. Figuras de los efluentes que se evaluaron.

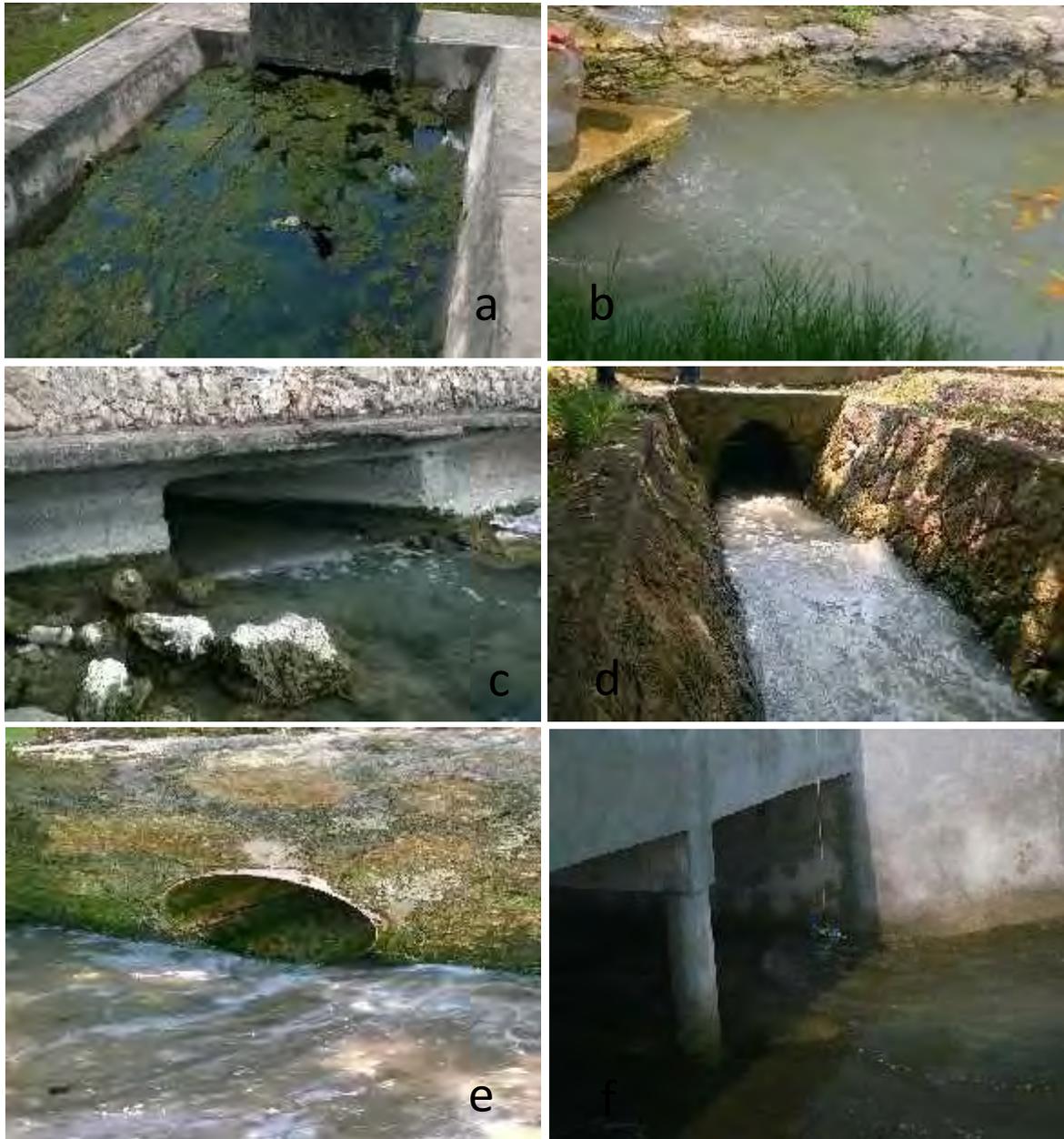


Figura. 22. Descarga evaluadas, a) Sam's, b) Poder judicial, c) Obelisco, d) Refugio de aves, e) Mega escultura y f)

CETMAR



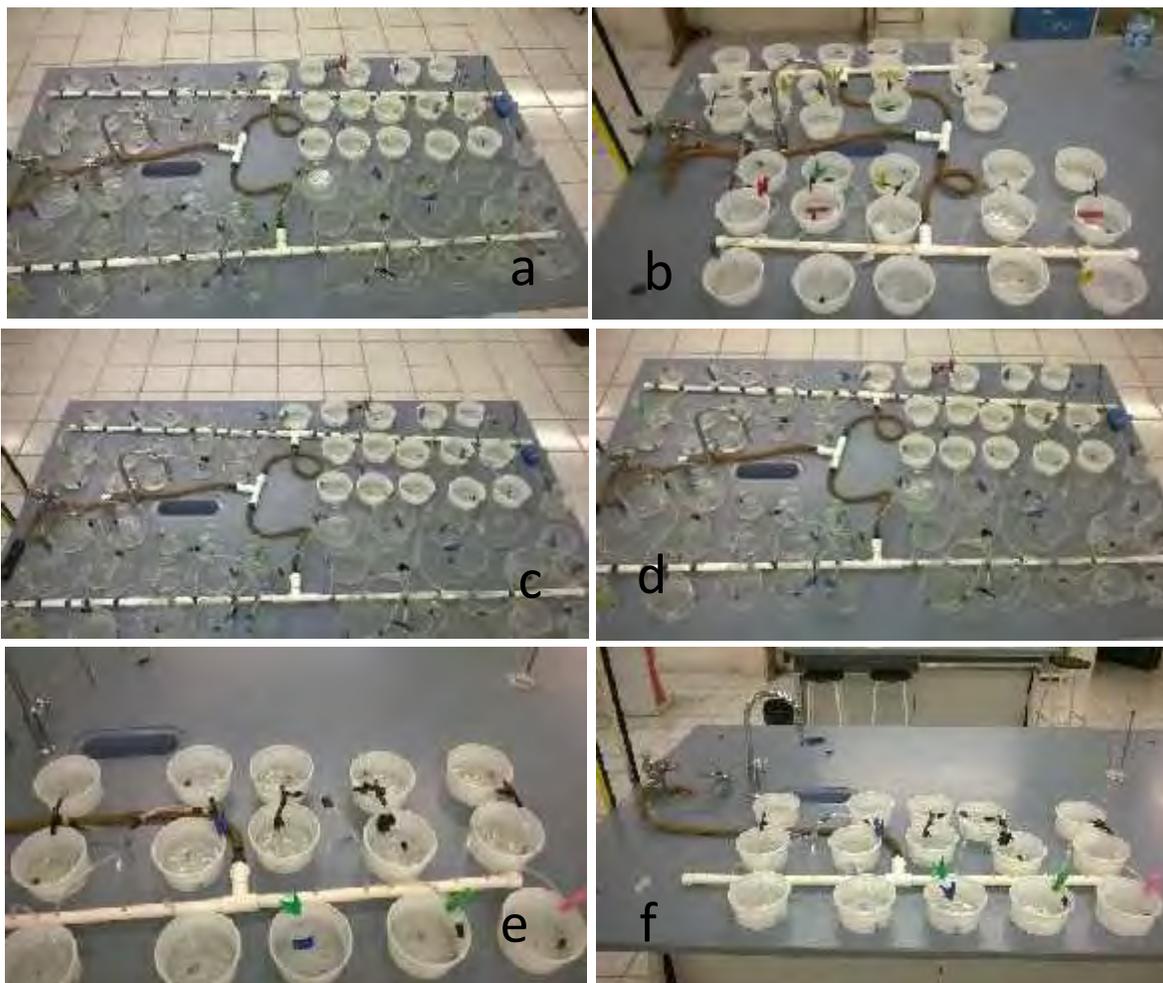
**Figura. 23.**Descarga de Proterritorio.

## Anexo 4. Bioensayos Exploratorios



**Figura 24.** Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas; **a)** Efluente Poder Judicial, **b)** Efluente Sam's, **c)** Efluente Muelle Fiscal, **d)** fluente Dina, **e)** Efluente Chevrolet, **f)** Efluente Dina y el grupo control.

## Anexo 5. Bioensayos definitivos



**Figura 25.** a) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam's, Chevrolet y Poder Judicial al inicio, b) Batería de bioensayo con sus efluente Muelle Fiscal y Mega escultura al inicio, c) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam's, Chevrolet y Poder Judicial a las 72 horas, d) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam's, Chevrolet y Poder Judicial a las 24 horas, e) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Dina, Sam's, Chevrolet y Poder Judicial al final de las pruebas, f). Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente CETMAR al inicio de las pruebas.



**Figura 26. a)** Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Muelle Fiscal y Mega escultura las 24 horas, b) Batería de bioensayo con sus respectivas réplicas del efluente Muelle Fiscal y Mega escultura las 72 horas.

## Anexo 6. Organismo de prueba utilizado en los bioensayos ecotoxicológicos.



### **Taxonomía:**

**Reino:** Animal

**Phylum:** Annelida

**Clase:** Polychaeta

**Orden:** Phyllodocida

**Familia:** Nereididae

**Género:** Nereis

**Especie:** *Laeonereis culveri* (Webster, 1879)