



---

# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Evaluación de la tolerancia y el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica en dos especies de poliquetos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.

### TESIS

Que como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

Isaura Guadalupe Flota Canto

***DIRECTOR DE TESIS***

Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

***ASESORES PROPIETARIOS***

M. C. José Martín Rivero Rodríguez

Biol. Laura Patricia Flores Castillo

***ASESORES SUPLENTES***

Ing. José Luís Guevara Franco

M.C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Chetumal, Quintana Roo, México, abril de 2009.  
**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

Esta tesis fue realizada bajo la asesoría de:

*Director de tesis*

---

Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

*Asesores propietarios*

---

M. C. José Martín Rivero Rodríguez

---

Biol. Laura Patricia Flores Castillo

*Asesores suplentes*

---

Ing. José Luís Guevara Franco

---

M.C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Chetumal, Quintana Roo, México, abril de 2009.

**Evaluación de la tolerancia y el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica en dos especies de poliquetos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.**

**CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	i
<b>AGRADECIMIENTO</b>	ii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	iii
<b>LISTA DE TABLAS</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	3
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	5
<b>1.2. Justificación.....</b>	8
<b>1.3. Objetivo general.....</b>	8
<b>1.4. Objetivos particulares.....</b>	8
<b>1.5. Hipótesis.....</b>	8
<b>1.6. Área de estudio.....</b>	9
<b>CAPITULO II</b>	
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	11
<b>2.1. Métodos de campo.....</b>	11
<b>2.2. Métodos de Laboratorio.....</b>	13
<b>2.2.1. Aclimatación de organismos.....</b>	14
<b>2.2.2. Tratamiento de sedimentos.....</b>	14
<b>2.2.3. Preparación de agua marina.....</b>	14
<b>2.3. Realización del bioensayo.....</b>	14

2.4. Métodos estadísticos.....	17
<b>CAPITULO III</b>	
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
3.1. Evaluación de la tolerancia de <i>Laeonereis culveri</i> por el método Probit mediante el cálculo de la CL <sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.....	18
3.1.1. Determinación de la Concentración Letal Media (CL <sub>50</sub> ).....	18
3.1.2. Determinación del Probit Calculado.....	23
3.1.3. Determinación del Error Patrón.....	24
3.1.4. Determinación de las Unidades de Toxicidad.....	27
3.2. Evaluación de la tolerancia de <i>Capitella cf. capitata</i> por el método Probit mediante el cálculo de la CL <sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.....	28
3.2.1. Determinación de la Concentración Letal Media (CL <sub>50</sub> ).....	28
3.3. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> con tres diferentes muestras de sedimento.....	32
3.3.1. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> con muestra de sedimento de la Dina.....	32
3.3.2. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> con muestra de sedimento del Muelle Fiscal.....	33
3.3.3. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> con muestra de sedimento del Ojo de agua.....	34
3.4. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia	

orgánica mediante la biomasa de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> con tres diferentes muestras de sedimento.....	35
<b>3.4.1.</b> Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> con muestra de la Dina.....	35
<b>3.4.2.</b> Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> con muestra del Muelle fiscal.....	36
<b>3.4.3.</b> Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> con muestra del Ojo de agua.....	37
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....</b>	38
<b>4.1.</b> Evaluación de la tolerancia de <i>Laeonereis culveri</i> por el método Probit mediante el calculo de la CL <sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.....	38
<b>4.2.</b> Evaluación de la tolerancia de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> por el método Probit mediante el calculo de la CL <sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.....	41
<b>4.3.</b> Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica de <i>Laeonereis culveri</i> .....	44
<b>4.4.</b> Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> .....	45
<b>4.5.</b> Conclusiones.....	46
<b>4.6.</b> Recomendaciones.....	47
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	48
<b>ANEXOS.....</b>	54

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico en especial a mi abuelita, Margarita Santoyo Tzab (la preciosa), por ser una excelente mujer, madre y abuela, por ser mi motivación y ejemplo de vida, que gracias a eso he aprendido y logrado muchas cosas, por brindarme todo su apoyo y por darme sabios consejos, por ser el pilar de la familia y por su enorme corazón lleno de amor. La AMO y espero no defraudarla nunca.

A mi madre, Guadalupe Esther Canto Santoyo. Gracias mamá, por ser mi mejor amiga y por ser la persona por la cual mi vida tiene sentido. Por ser una mujer fuerte y trabajadora, que día a día trabajas para brindarnos a mis hermanos y a mí lo mejor. Te Amo.

A mi tía, María del Carmen Canto Santoyo, porque gracias a ella mi familia y yo salimos adelante. Por ser una excelente mujer, quien con su ejemplo, me ha enseñado a salir adelante ante cualquier adversidad, es para mí un ejemplo a seguir.

A mi abuelito, Esteban Roque Flota Sansores, quien en vida nos brindó su apoyo incondicional, por ser la persona que en los momentos difíciles jamás se olvido de mi familia y por los buenos consejos que me brindó en todo momento. Siempre lo llevaré en mi corazón.

A mi abuelito, Candelario Díaz, por haber tomado el papel de padre y abuelo. Con todo mi cariño.

A mis primos Erickita y Gustavito que vinieron al mundo para llenar de alegría y felicidad nuestras vidas, espero ser para ustedes un ejemplo y apoyarlos de la misma manera en la que su mamá nos ayudo.

A mis hermanos, Nayeli y Argenis, con todo mi amor para ustedes.

A mi esposo Ángel Mauricio Mora Castillo, quien ha sido la persona que me ha brindado su ayuda incondicional, con todo mi amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS.**

Quiero agradecer en especial al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, quien me permitió realizar la tesis bajo su tutoría, por ser mi tutor y amigo, por brindarme en cada momento sabios consejos, por enseñarme que la vida tiene sentido cuando se tiene sueños y objetivos, gracias por las tantas llamadas de atención y por su apoyo incondicional. Gracias por formar parte de este gran logro.

Gracias a mi Comité de Tesis, al M. C. José Martín Rivero Rodríguez, a la Biol. Laura Patricia Flores Castillo, al I. Q. José Luís Guevara Franco y a la M. C. Jennifer D. Ruiz Ramírez, por aceptar formar parte de mi Comité y por dedicarle tiempo para la revisión de la tesis. Gracias por sus comentarios y observaciones.

Quiero agradecer a mis tíos, Gabriel e Isolina, quienes han apoyado a mi familia y a mí durante mi carrera. De corazón, Gracias.

Quiero agradecer a mis amigos Cristina, Erika y Emmanuel, por todos los momentos felices que vivimos durante la licenciatura. Gracias amigos por sus consejos y por brindarme lo más valioso, su amistad.

Quiero agradecer a mi amigo Russell, que me ayudó durante los muestreos, gracias por los momentos tan divertidos que pasamos durante el trabajo de campo y de laboratorio.

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b>	
Área de estudio.....	10
<b>Figura 2</b>	
Estación Congreso, sitio donde fueron recolectados organismos de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> y <i>Laeonereis culveri</i> .....	11
<b>Figura 3.</b>	
Sitios de muestreo, Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua.....	12
<b>Figura 4.</b>	
Método de recolección de <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> y <i>Laeonereis culveri</i> .....	13
<b>Figura 5.</b>	
Organismos utilizados para la realización de los bioensayos, a) <i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> y b) <i>Laeonereis culveri</i> .....	15
<b>Figura 6.</b>	
Realización del bioensayo.....	16
<b>Figura 7.</b>	
Representación gráfica del cálculo de la CL <sub>50</sub> .....	20
<b>Figura 8.</b>	
Ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados.....	21
<b>Figura 9.</b>	
Representación gráfica del log de la CL <sub>50</sub> .....	22
<b>Figura 10.</b>	
Representación gráfica del cálculo de la CL <sub>50</sub> .....	30
<b>Figura 11.</b>	
Ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados.....	31
<b>Figura 12.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> y la concentración de materia orgánica con muestra de la Dina.....	32

<b>Figura 13.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> y la concentración de materia orgánica con muestra del Muelle fiscal.....	33
<b>Figura 14.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Laeonereis culveri</i> y la concentración de materia orgánica con muestra del Ojo de agua.....	34
<b>Figura 15.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Capitella cf. capitata</i> y la concentración de materia orgánica con muestra de la Dina.....	35
<b>Figura 16.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Capitella cf. capitata</i> y la concentración de materia orgánica con muestra del Muelle fiscal.....	36
<b>Figura 17.</b>	
Relación entre la biomasa de <i>Capitella cf. capitata</i> y la concentración de materia orgánica con muestra del Ojo de agua.....	37

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b>	
Poliquetos anélidos empleados en pruebas de toxicidad.....	7
<b>Tabla 2.</b>	
Resultados obtenidos durante la realización del bioensayo con <i>Laeonereis culveri</i> .....	18
<b>Tabla 3.</b>	
Datos de toxicidad de <i>Laeonereis culveri</i> para el Método Probit.....	19
<b>Tabla 4.</b>	
Relación entre el Probit Empírico y el porcentaje de mortalidad.....	19
<b>Tabla 5.</b>	
Error patrón del log CL <sub>50</sub> .....	24
<b>Tabla 6.</b>	
Factor ponderado (w).....	24
<b>Tabla 7.</b>	
Resultados obtenidos durante la realización del bioensayo con <i>Capitella cf. capitata</i> .....	28
<b>Tabla 8.</b>	
Datos de toxicidad de <i>Capitella cf. capitata</i> para el Método Probit.....	29
<b>Tabla 9.</b>	
Relación entre el Probit Empírico y el porcentaje de mortalidad.....	29
<b>Tabla 10.</b>	
Revisión de literatura sobre toxicidad de metales traza en diferentes especies de la familia Nereididae (Reish, 1984).....	39
<b>Tabla 11.</b>	
Revisión de literatura sobre toxicidad de metales traza en diferentes especies de la familia Capitellidae (Reish, 1984).....	42

**Evaluación de la tolerancia y el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica en dos especies de poliquetos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.**

Isaura Guadalupe Flota Canto  
Universidad de Quintana Roo  
División de Ciencias e Ingeniería

**RESUMEN**

La contaminación marina es uno de los problemas más generalizados a nivel mundial y uno de los contaminantes que más afecta a los organismos marinos, salobres y de agua dulce, es el exceso de materia orgánica proveniente de desechos domésticos, industriales y actividades acuícolas.

Numerosas investigaciones se han dirigido a la selección de organismos modelo y parámetros bioquímicos y fisiológicos apropiados para evaluar su condición biológica en áreas impactadas por contaminantes. En este sentido, los poliquetos (anélidos) han sido reconocidos como organismos sensores para estudiar los distintos grados de contaminación del bentos (Reish, 1980, 1986, 1998; Méndez y Páez-Osuna, 1998), debido a que varias especies son sensibles y pueden ser indicadoras de contaminación (Carrasco y Gallardo 1989, Carrasco 1998, Cañete et al. 2000).

Debido a la complejidad de estudiar los efectos que ocasionan a las diferentes poblaciones los contaminantes en su medio natural, es necesario llevarlo a cabo en un medio bajo condiciones controladas. Una de las herramientas utilizadas para evaluar el efecto de los contaminantes sobre los componentes biológicos de los sistemas acuáticos son los bioensayos (Rodríguez et al. 1993). Estos constituyen la única forma de determinar el grado de toxicidad de efluentes y compuestos químicos y nos proporciona las bases para establecer una legislación en materia de contaminación.

En el biomonitoreo “Análisis de las comunidades de poliquetos bénticos como biomonitores de enriquecimiento orgánico en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo” (Delgado Blas et al. 2006), se describen los sitios con mayor concentración de materia orgánica y mayor diversidad de organismos, por lo tanto, con base en esos resultados se establecieron cuatro estaciones de muestreo en la Bahía de Chetumal (Congreso, Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua).

En el Congreso se recolectaron organismos de *Capitella cf. capitata* (Fabricius, 1780) y *Laeonereis culveri* (Webster, 1879), así como también muestras de sedimento y agua que sirvieron para la aclimatación de los organismos durante dos días. En los sitios de la Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua se tomaron únicamente muestras de sedimento con diferentes concentraciones de materia orgánica (2.7, 2.1 y 1.43 mg/l de C.O. respectivamente) con la finalidad de llevar a cabo dos bioensayos, uno con *Laeonereis culveri* y otro con *Capitella cf. capitata*, en ambos se evaluó el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa y se calculó el coeficiente de correlación, así como también, en ambas especies se evaluó la tolerancia a la materia orgánica empleando el método Probit, en un periodo de veinte días.

Se observó un aumento de la biomasa en ambas especies, mientras que la concentración de materia orgánica disminuyó, el coeficiente de correlación entre las variables de biomasa y la concentración de materia orgánica mostró que estas se relacionan de manera inversamente proporcional. Se obtuvo que la concentración que elimina el 50% de los organismos ( $CL_{50}$ ) para *Laeonereis culveri* fue de 2.3 mg/l, mientras que en *Capitella cf. capitata* no se pudo calcular la  $CL_{50}$  debido a la baja mortandad durante el periodo de prueba.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación marina es uno de los problemas más generalizados a nivel mundial y uno de los contaminantes que más afecta a los organismos marinos, salobres y de agua dulce, es el exceso de materia orgánica proveniente de desechos domésticos, industriales y actividades acuícolas, entre otros. Tait (1981) presentó cinco efectos principales de la contaminación por materia orgánica en el medio marino: 1) depósito de heces, 2) desoxigenación, 3) eutrofización, 4) baja salinidad e 5) infección; sin embargo, una de las consecuencias extremas del aporte exagerado de materia orgánica es la desfaunación total.

En los últimos años ha surgido un creciente interés por el problema del deterioro de los sedimentos de las zonas costeras. Se han dirigido numerosas investigaciones a la selección de organismos modelo y parámetros bioquímicos y fisiológicos apropiados para evaluar su condición biológica en áreas impactadas por contaminantes. En este sentido, los poliquetos (anélidos) han sido reconocidos como organismos sensores para estudiar los distintos grados de contaminación del bentos (Reish, 1980, 1986, 1998; Méndez y Páez-Osuna, 1998), debido a que varias especies son sensibles y pueden ser indicadoras de contaminación (Carrasco y Gallardo 1989, Carrasco 1998, Cañete et al. 2000). Algunas especies de Spionidae y Capitellidae son reconocidas como indicadoras de contaminación orgánica (Reish, 1980; Elías y Bremec, 1988 Pockigta y Wells, 1992; Levin, 1998;), además de que son dos de las familias de poliquetos más diversas y abundantes de fondos blandos (Delgado-Blas, 2001). 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, modifican el fondo marino, la concentración de gases disueltos, la mezcla del agua intersticial, la consistencia del sedimento y la dinámica de los contaminantes.

Una de las herramientas utilizadas para evaluar el efecto de los contaminantes sobre los componentes biológicos de los sistemas acuáticos son los bioensayos (Rodríguez et al. 1993). Un bioensayo es el uso de organismos vivos como un agente de prueba para la presencia o concentración de un compuesto químico o un efecto ambiental.

Los bioensayos de toxicidad se han incrementado en los últimos tiempos debido a la rapidez con que se obtiene la información sobre las dosis letales y subletales ( $CL_{50}$ ) que afectan negativamente a los organismos vivos en los ambientes marinos, estuarinos y dulceacuícolas (Villamar, 1996). Estos nos ayudan a conocer tempranamente los posibles impactos sobre las comunidades, debido a que son utilizados en el monitoreo y control de las perturbaciones en la biocenosis acuática, completando o reemplazando a los métodos analíticos complicados y costosos. Estas técnicas tienen como objetivo principal determinar las concentraciones o niveles de los factores que resulten seguros para los organismos en el sentido de que garanticen su sobrevivencia, desarrollo y reproducción en condiciones de exposición continua.

El Método Probit, también conocido como Método de Unidades Probabilísticas es utilizado para evaluar la relación dosis-respuesta de un contaminante sobre un organismo, medida en términos de la concentración letal media ( $CL_{50}$ ) y su precisión o intervalo de confianza. Los estudios toxicológicos constituyen uno de los elementos de juicio más adecuados para la evaluación del riesgo potencial producido por contaminantes presentes en el ambiente.

## 1.1. ANTECEDENTES

El despertar del interés público a los diferentes problemas de impacto presentes en el ambiente a fines de 1960 fue un importante estímulo para la proliferación de las pruebas biológicas marinas. Los grupos de invertebrados marinos más utilizados en estas pruebas son los moluscos (pelecípodos), crustáceos y poliquetos.

Los primeros estudios ecotoxicológicos con poliquetos se iniciaron con Raymont y Shields (1963), quienes investigaron los efectos del cobre y cromo sobre *Nereis virens* con el establecimiento de un reactor atómico en el Reino Unido. Posteriormente, Reish (1966, 1970) estudió los efectos de varias concentraciones de nutrientes, cloro y oxígeno disuelto en cuatro especies de poliquetos (*Neanthes arenaceodentata*, *Nereis grubei*, *Dorvillea articulata* y *Capitella capitata*) que han sido usados como indicadores de contaminación.

De igual manera, se han realizado estudios toxicológicos sobre la reproducción de poliquetos, quien fue hecho primeramente por Bellan et al. (1972), quienes midieron la toxicidad de un detergente en las diferentes etapas de vida de *Capitella capitata*. Otras especies de poliquetos utilizados para estudiar los efectos de los tóxicos sobre la reproducción han sido *Owenia labronica* con un ciclo de vida de 5 semanas (Akesson, 1970, 1975; Roed, 1980), *Capitella capitata* (Reish, 1980), *Neanthes Arenaceodentata* con un ciclo de vida de 4 a 5 meses, además fue propuesta como una especie tolerante a la contaminación por hidrocarburos y ha sido propuesto como modelo para estudios marinos de toxicología citogenética (Pesch y Pesch, 1980), de igual manera *Ctenodrilus serratus* con un ciclo de vida de 21 días (Reish, 1980a), *Owenia diadema* tiene un ciclo de vida de un mes (Reish, 1980a).

Kurihara (1983) estudió la eficiencia y factibilidad de los nereídidos *Neanthes japonica* y *Perinereis nuntia vallata*, encontrando que digieren una gran cantidad de materia orgánica presente en lodos activados y son capaces de perpetuarse en base a esa alimentación.

Se realizaron pruebas bioquímicas para estudiar la actividad de las enzimas de *Glycera alba* expuestos a sustancias tóxicas (Blackstock & Filion-Myklebust 1983) y de *Nereis virens* (Fries & Lee 1984).

De igual manera se ha visto la necesidad de medir el efecto de los metales traza en poliquetos mediante el cálculo de la concentración letal ( $CL_{50}$ ) que elimina el 50% de la población en un tiempo determinado (Reish, 1985). Posteriormente se empezó a evaluar la toxicidad de muchos metales y otros químicos sobre diferentes poliquetos, *Ophryotrocha diadema* (Parker, 1984) y *Dinophilus gyrociliatus* (Carr et al. 1986). También, Walsh et al. 1986 examinó el efecto de los compuestos orgánicos (biocida) sobre larvas de *Arenicola cristata*.

Recientemente, Méndez et al. (2001), evaluaron el porcentaje digerido de sedimentos contaminados con Fluoranteno. El fluoranteno es un hidrocarburo aromático policíclico (HAP) derivado del alquitrán de la hulla. Se producen durante la incineración incompleta del carbón, el petróleo, el gas, la madera, afectando el crecimiento promedio del complejo de especies de *Capitella capitata*. Así como también, Méndez et al. (2002) realizaron pruebas donde analizaron los efectos de sedimentos contaminados por cadmio en la actividad alimenticia de *Capitella capitata*; en otro estudio, Méndez et al. (2003) evaluaron bajo condiciones de laboratorio los efectos de Teflu-benceno sobre dos poblaciones de *Capitella capitata*.

Hasta la fecha, se han utilizado 22 especies que corresponden a 12 familias de poliquetos en pruebas de bioensayos y cerca de la mitad de esas especies empleadas, corresponden únicamente a dos familias Nereididae y Dorvilleidae (Tabla 1).

<b>Tabla 1. Poliquetos anélidos empleados en bioensayos.</b>				
<b>Familia-Especie</b>	<b>Tóxicos</b>			
	<b>Metales</b>	<b>Hidrocarburos</b>	<b>Detergentes</b>	<b>Otros</b>
<b>Polynoidea</b> <i>Halosydna Jonson</i>	X			
<b>Nereididae</b> <i>Neanthes arenaceodentata</i> <i>Neanthes valí</i> <i>Nereis grubei</i> <i>Nereis diversicolor</i> <i>Nereis virens</i>	X X X X	X		Nutrientes
<b>Dorvilleidae</b> <i>Dorvillea articulata</i> <i>Ophryotrocha diadema</i> <i>Ophryotrocha labronica</i> <i>Ophryotrocha puerilis</i>	X X	X X	X X	Nutrientes
<b>Spionidae</b> <i>Scolecopsis fuliginosa</i>			X	
<b>Cirratullidae</b> <i>Cirriformia luxuriosa</i> <i>Cirriformia spirobrancha</i>	X X	X		
<b>Ctenodrillidae</b> <i>Ctenodrillus serratus</i>	X	X		
<b>Capitellidae</b> <i>Capitella capitata</i>	X	X	X	Nutrientes
<b>Arenicolidae</b> <i>Abarenicola pacifica</i> <i>Arenicola cristata</i>			Dragado de drenaje Lodo de perforación	
<b>Sabellidae</b> <i>Eudistylia vancouveri</i>	X			
<b>Sabellariidae</b> <i>Sabellaria spinulosa</i>			X	
<b>Serpulidae</b> <i>Dexiospira brasiliensis</i>	X	X		
<b>Dinophilidae</b> <i>Dinophilus gyroliatus</i> <i>Dinophilus sp.</i>	X X			

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El enriquecimiento orgánico del sedimento es un proceso natural, sin embargo, en Latinoamérica el problema de la contaminación por drenaje urbano, ha incrementado el contenido de materia orgánica en los sedimentos, causando una reducción de oxígeno disuelto y una formación de mantos lodosos con producción de metano y ácido sulfhídrico, provocando cambios no favorables para la biota acuática. Debido a la complejidad de estudiar los efectos que ocasionan a las diferentes poblaciones los contaminantes en su medio natural, es necesario llevarlo a cabo en un medio bajo condiciones controladas, donde se observen los diferentes efectos que ocasionan los contaminantes, específicamente la materia orgánica, por lo que se realizan los bioensayos constituyendo la única forma de determinar el grado de toxicidad de efluentes y compuestos químicos y nos proporciona las bases para establecer una legislación en materia de contaminación.

## 1.3. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la tolerancia y el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica en dos especies de poliquetos.

## 1.4. OBJETIVOS PARTICULARES:

- Determinar el grado de tolerancia de *Capitella cf. capitata* y *Laeonereis culveri* en sedimento contaminado por materia orgánica por el método Probit.
- Determinar el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata* y *Laeonereis culveri*.

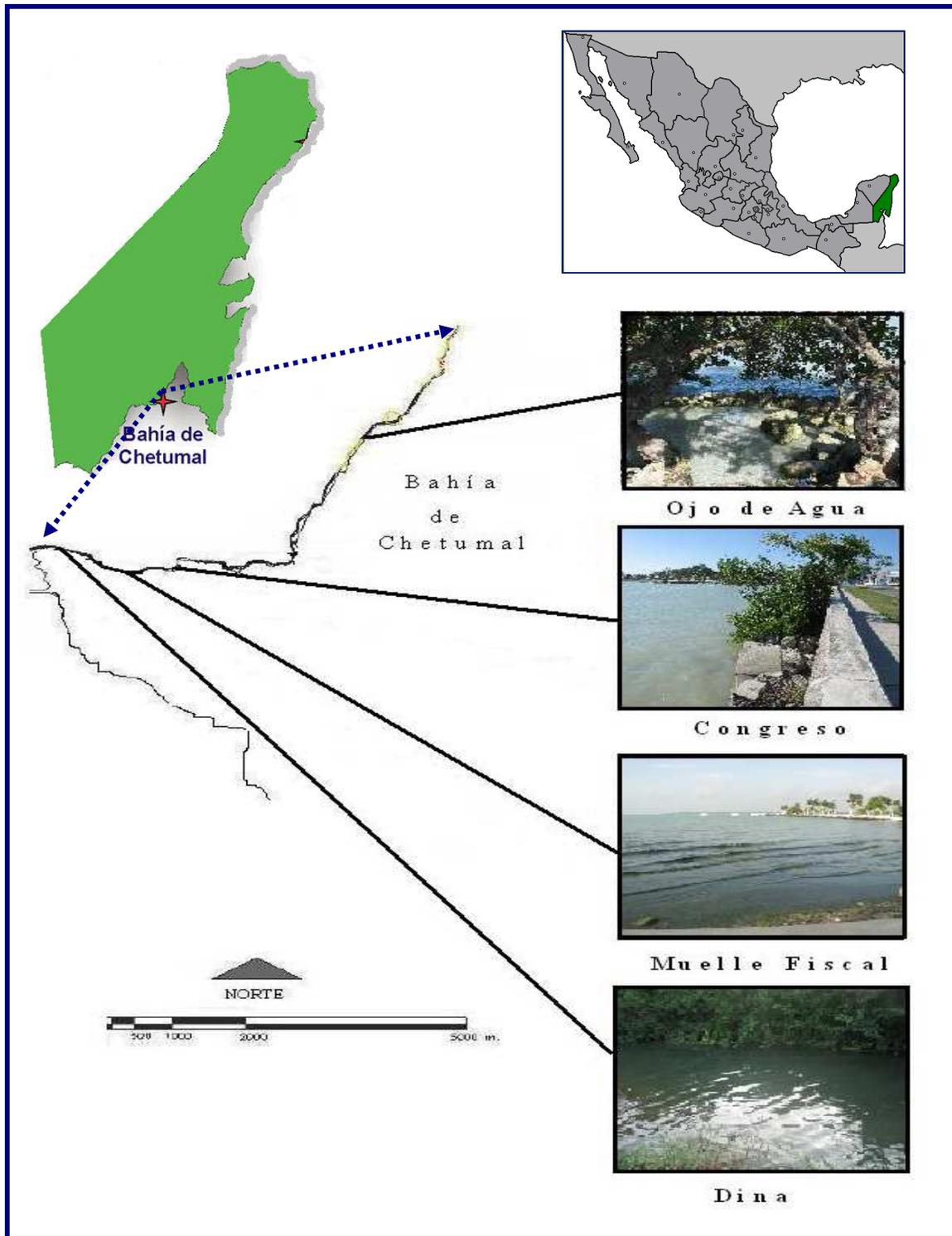
## 1.5. HIPÓTESIS

- *Capitella cf. capitata* es más tolerante a la concentración de materia orgánica que *Laeonereis culveri*.
- *Capitella cf. capitata* y *Laeonereis culveri* consumen grandes cantidades de sedimento contaminado por materia orgánica.

## 1.6. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio fue la Bahía de Chetumal localizada en la parte sur del Estado de Quintana Roo, Península de Yucatán, entre los 17°53" y 18°52" N y 87°51" y 88°23" W (Cano y Flores, 1990). Presenta aproximadamente 67 km de largo y 20 km en su parte más amplia con un área cercana a 1.100 km<sup>2</sup> (Delgado y Chavira, 1984). La bocana que comunica al mar se localiza al SE y se encuentra bordeada por cayos y bancos de arena. En el interior de la bahía desemboca el río Hondo cuyo lecho es producto de una falla geológica (Escobar, 1986); corre a lo largo de la frontera con Belice desde su nacimiento en el petén guatemalteco, desembocando con un flujo aproximado de 70-80 m<sup>3</sup>/s, según la Comisión Nacional del Agua (CNA). La presencia del río y zonas inundables que rodean a la bahía le dan características estuarinas ya que la salinidad promedio no sobrepasa las 14 ppm y podría considerarse un sistema hipohalino (Cano y Flores, 1990; Gasca y Castellanos, 1993). Además, por su escasa profundidad (3.28 m en promedio) el movimiento de las masas de agua se determina, principalmente, por los vientos alisios predominantes del E y SE, con una velocidad promedio de 3 m/s (Chavira et al. 1992).

En la figura 1 se puede observar el área donde se colectó el sedimento y los organismos.



**Figura 1.** Área de estudio.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Método de campo:

En el biomonitoreo “Análisis de las comunidades de poliquetos bénticos como biomonitores de enriquecimiento orgánico en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo” (Delgado Blas et al. 2006), se describen los sitios con mayor concentración de materia orgánica y mayor diversidad de organismos, por lo tanto, con base en esos resultados se establecieron cuatro estaciones de muestreo.

La primera estación quedó ubicada a 5 m de la línea de costa del Congreso del Estado (Fig. 2) donde se recolectaron organismos de *Capitella cf. capitata* y *Laeonereis culveri*; así como muestras de sedimento y agua que sirvieron para la aclimatación de los organismos. El agua fue transportada en un garrafón de plástico con capacidad de 25 litros.



**Figura 2.** Estación Congreso, sitio de recolecta de organismos de *Capitella cf. capitata* y *Laeonereis culveri*.

En las estaciones de la Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua (ubicado enfrente del club Campestre, balneario Dos Mulas) se recolectaron únicamente muestras de sedimento (2 kg) con contenido orgánico a un metro de la orilla (Fig. 3a-c), mismas que se fragmentaron para la realización de dos bioensayos, en el primero se evaluó el consumo de sedimento mediante la biomasa y en el segundo, la tolerancia a la concentración de materia orgánica, en *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata*.



**Figura 3.** Sitios de Muestreo: a) Dina, b) Muelle fiscal, c) Ojo de agua.

En cada estación de muestreo se tomaron muestras de sedimento por medio de un nucleador de PVC de 10.8 cm de diámetro y 24.5 cm de altura, posteriormente se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas.

Se extrajeron varias muestras de sedimento para recolectar un número suficiente de organismos vivos de *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata*; las muestras de sedimento se tamizaron por medio de tamices de 1 mm de abertura de malla y para extraer los organismos de los tamices se empleó pipetas de transferencia de 3 ml con la finalidad de capturarlos fácilmente y cuidar de no fragmentarlos o dañarlos (Fig. 4).

Únicamente se recolectaron poliquetos y los demás organismos se regresaron a su medio. Los organismos colectados se depositaron en un pequeño vial (frasco de vidrio) con agua del mismo sitio. Cada vial contenía un organismo, esto para evitar su enrollamiento entre varios individuos, su fragmentación y/o estrés al momento de separarlos e identificarlos. Los viales se transportaron dentro de otro recipiente de plástico y estos se colocaron en neveras para protegerlos de la radiación solar. Se procedió a salir varias veces a coleccionar organismos a los mismos sitios de recolecta hasta finalizar con los bioensayos.



**Figura 4.** Método de recolección de *Capitella* cf. *Capitata* y *Laeonereis culveri* en la estación “Congreso”.

En la primera estación se tomaron *in situ* los parámetros fisicoquímicos (T °C, S ‰, pH y OD) de la columna de agua más cercana al fondo, por medio de un potenciómetro, refractómetro y oxímetro, con la finalidad de conocer las concentraciones de las variables en las que se encontraban los organismos en su ambiente natural y tratar de mantenerlos en las mismas condiciones durante la realización de los bioensayos.

## 2.2. MÉTODOS DE LABORATORIO

### 2.2.1. Aclimatación de organismos:

Durante la aclimatación, los poliquetos se colocaron en peceras de 25 x 15 x 12 cm que contenían un centímetro de grosor de sedimento y 2 Lt de agua del mismo sitio; así como también, se mantuvieron aireados por medio de un digestor controlado por una bomba de aire, esto se realizó con el objeto de mantener a los organismos bajo observación durante dos días (APHA et al. 1992) antes de iniciar el bioensayo. Una vez recolectados los organismos, se observaron bajo el estereoscopio y se identificaron a nivel de familia con la siguiente literatura: Uebelacker, 1984; González- Escalante y Salazar-Vallejo 2003.

### **2.2.2. Tratamiento de sedimentos:**

Se tamizó un kg de sedimento de cada muestra obtenida durante el muestreo en las distintas estaciones con la finalidad de eliminar a los organismos (no poliquetos) existentes en la muestra, posteriormente se determinó la concentración de materia orgánica mediante el método de titulación por dicromato de potasio (Holme y McIntyre, 1984). Se determinó la concentración inicial de materia orgánica de cada muestra para medir el consumo de los organismos y a su vez evaluar la tolerancia de las especies ante las distintas concentraciones. Así como también, se determinó la granulometría con la finalidad de conocer el tipo de sedimento en que se encontraban los organismos y esto se realizó por medio de un agitador de tamices (Ro-Tap), tomando 50 gr de sedimento seco de cada una de las tres muestras obtenidas durante el muestreo.

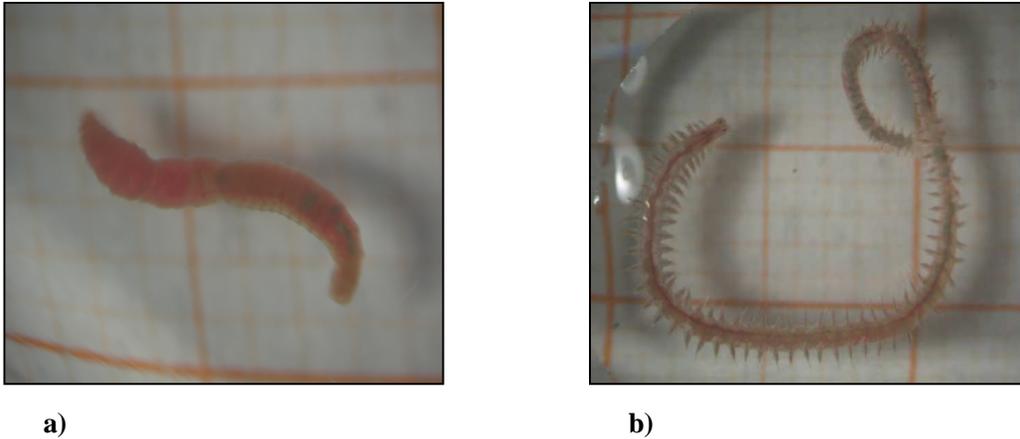
### **2.2.3. Preparación de agua marina:**

Para la realización del bioensayo fue necesario preparar agua marina, adicionando sal marina “Oceanic” en agua purificada hasta obtener una salinidad de 9 ppm, misma que tenía el sitio donde fueron recolectados los organismos (Congreso). Este procedimiento se realizó con la finalidad de no emplear el agua del sitio de recolecta para que no influyera en la concentración de materia orgánica que contenía el sedimento recolectado, así como evitar alguna otra influencia antropogénica.

### **2.3. Realización del Bioensayo.**

Se realizaron dos bioensayos, uno con *Laeonereis culveri* y otro con *Capitella cf. capitata*, en ambas especies se evaluó el consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa y la tolerancia a la materia orgánica con muestras de sedimento de la Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua (2.7, 2.1 y 1.43 mg/l de carbono orgánico respectivamente) en un periodo de veinte días. Para esto se utilizaron 180 organismos, de los cuáles 90 organismos fueron *Laeonereis culveri* y 90 organismos de *Capitella cf. capitata*. Se procuró que todos los organismos utilizados en el bioensayo fueran los más grandes, completos (sin fragmentar) y del mismo tamaño, en el caso de

*Laeonereis culveri* la medida aproximada fue de 1 a 3 cm y para *Capitella cf. capitata* fue de 1 a 1.5 cm, esto con la finalidad de poder manipularlos durante el desarrollo del bioensayo (Fig. 5).



**Figura 5.** Organismos utilizados para la realización de los bioensayos, a) *Capitella cf. capitata* y b) *Laeonereis culveri*.

Al inicio del bioensayo se prepararon 18 peceras, a seis peceras se les colocaron 100 gr de la muestra de sedimento de la Dina, a otras seis se les agregaron 100 g de la muestra de sedimento del Muelle fiscal y a las últimas seis se les agregaron 100 g de la muestra sedimento del Ojo de agua conociendo previamente la concentración inicial de materia orgánica de cada muestra; a cada replica se le agregó 2 litros de agua marina. Posteriormente se procedió a extraer a los gusanos de las peceras de aclimatación con ayuda de una pipeta de transferencia, la cual nos sirvió para remover el sedimento de la pecera y para lograr capturar a los organismos que la mayoría se encontraba dentro de tubos de arena. Con la finalidad de que los organismos salieran de sus tubos y liberaran el sedimento que llevaban adherido a su cuerpo fue necesario colocarlos en cajas petri que contenían agua marina. Algunos organismos de *Capitella cf. capitata* que se encontraban dentro de sus tubos y no lograban salir por si solos, fue necesario estimularlos dándoles a los tubos ligeros movimientos con la pipeta. Este procedimiento se realizó con el objetivo de obtener solamente el peso húmedo de cada organismo. Para conseguir el peso húmedo inicial de cada organismo, fue necesario tarar una pequeña caja petri por medio de una

balanza analítica de 0.0001 g, donde se colocó con la pipeta de transferencia un organismo (libre de sedimento), y para eliminar el exceso de agua del organismo al momento de pesarlo se empleó un isopo. Finalmente, para cada muestra de sedimento se tomaron 30 organismos de *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata*, que fueron colocados en las peceras con la muestra de sedimento (10 cada uno). A los diez y veinte días, los organismos eran removidos del sedimento, se extraían dos gramos de sedimento para determinar la concentración de materia orgánica y a su vez se contabilizaban y se pesaban los organismos vivos (Fig.6).

En el caso de *Capitella cf. capitata* se tomaron como organismos vivos solamente aquellos organismos que lograban salir de sus tubos y los que no, se tomaban como organismos muertos.

Durante el desarrollo de los bioensayos se determinaron diariamente los parámetros fisicoquímicos (T °C, S ‰, pH y OD) en la columna de agua por medio de un potenciómetro, refractómetro y oxímetro para registrar y controlar los cambios ocurridos durante el desarrollo del bioensayo.



**Figura 6.** Realización del bioensayo.

#### 2.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS.

Para comprobar que *Capitella* cf. *capitata* y *Laeonereis culveri* consumieron sedimento contaminado con materia orgánica, se graficaron las variables de biomasa y la concentración de materia orgánica, empleando el programa de Microsoft Office Excel 2003, de igual manera se procedió a calcular con el mismo programa el coeficiente de correlación para conocer las relaciones que existen entre las variables.

Para evaluar la tolerancia de *Laeonereis culveri* y *Capitella* cf. *capitata* con las tres diferentes concentraciones de materia orgánica se realizó el Método Probit, siguiendo el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-078-ECOL-1994, que establece el método de prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna straus* (*Crustacea-cladocera*), siendo ésta representante importante de las comunidades dulceacuícolas, porque su ciclo de vida es corta y es fácil de cultivar en el laboratorio, lo cual permite realizar pruebas rápidas y económicas, además de contar con una gran sensibilidad a una amplia gama de compuestos tóxicos, por lo tanto, es empleado internacionalmente en pruebas de toxicidad.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Evaluación de la tolerancia de *Laeonereis culveri* por el método Probit mediante el cálculo de la $CL_{50}$ en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.

##### 3.1.1. Determinación de la Concentración Letal Media ( $CL_{50}$ ).

La concentración letal media ( $CL_{50}$ ) se calculó por el Método Probit. Se elaboró la tabla 2 con los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad. Las concentraciones de materia orgánica que se obtuvieron de las estaciones de la Dina, del Muelle fiscal y del Ojo de agua fueron de 2.7, 2.1 y 1.43 mg/l de carbono orgánico (C.O) respectivamente. Se emplearon 30 organismos (de *Laeonereis culveri*) para cada muestra de sedimento con diferente concentración de materia orgánica. Durante veinte días de exposición de *Laeonereis culveri* en las muestras de sedimento, se observó una mortandad de 18 organismos en la muestra de sedimento de la Dina lo cual corresponde al 60% de mortalidad, 12 organismos muertos en la muestra de sedimento del Muelle fiscal que corresponde al 40% de mortalidad y 10 organismos muertos en la muestra de sedimento del Ojo de agua la cual corresponde al 33%.

**Tabla 2. Resultados obtenidos durante la realización del bioensayo con *Laeonereis culveri*.**

Concentración en mg/l	No. organismos expuestos por concentración	No. organismos muertos por concentración	% Mortalidad por concentración
2.7	30	18	60
2.1	30	12	40
1.43	30	10	33

Para cada concentración de materia orgánica se calculó el log, resultando, el log de la concentración de 2.7 mg/l (Dina) fue de 0.43, el log de 2.1 mg/l (Muelle fiscal) fue de 0.32 y el log de 1.43 mg/l (Ojo de agua) fue de 0.15. Posteriormente, se calculó el valor de Probit Empírico relacionando el porcentaje de mortalidad de cada concentración (Tabla 3) con los valores de la Tabla 4 que se obtuvo de la Norma Oficial Mexicana (Prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (crustáceo-cladócer) método de prueba).

**Tabla 3. Datos de toxicidad de *Laeonereis culveri* para el Método Probit.**

Concentración mg/l	log de la Concentración (X)	No. de Organismos (N)	Mortalidad Observada (r)	% de Mortalidad (P)	Probit Empírico (EP)
2.7	0.43	30	18	60	5.25
2.1	0.32	30	12	40	4.75
1.43	0.15	30	10	33	4.56

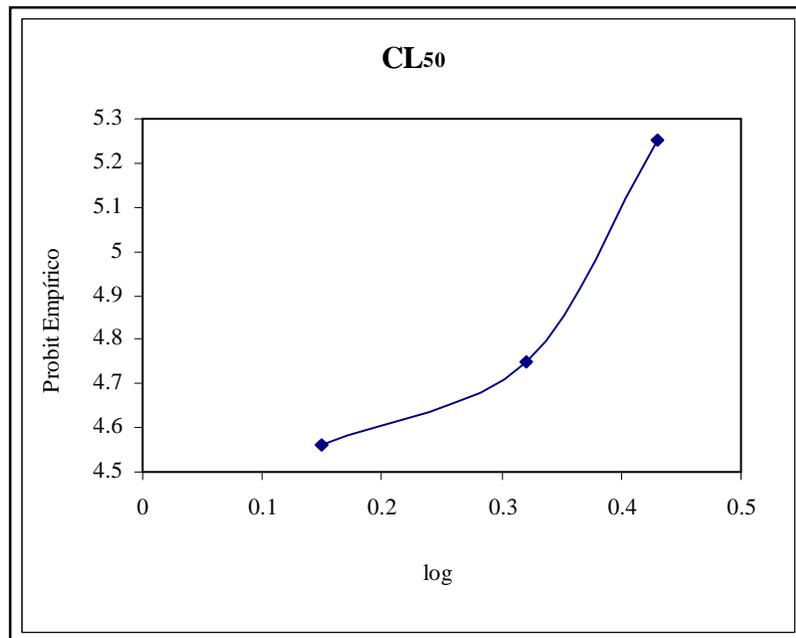
**Tabla 4. Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad.**

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
<b>30</b>	4,48	4,50	4,53	<b>4,56</b>	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
<b>40</b>	<b>4,75</b>	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
<b>60</b>	<b>5,25</b>	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>

a\* valores entre 99.0 y 99.9

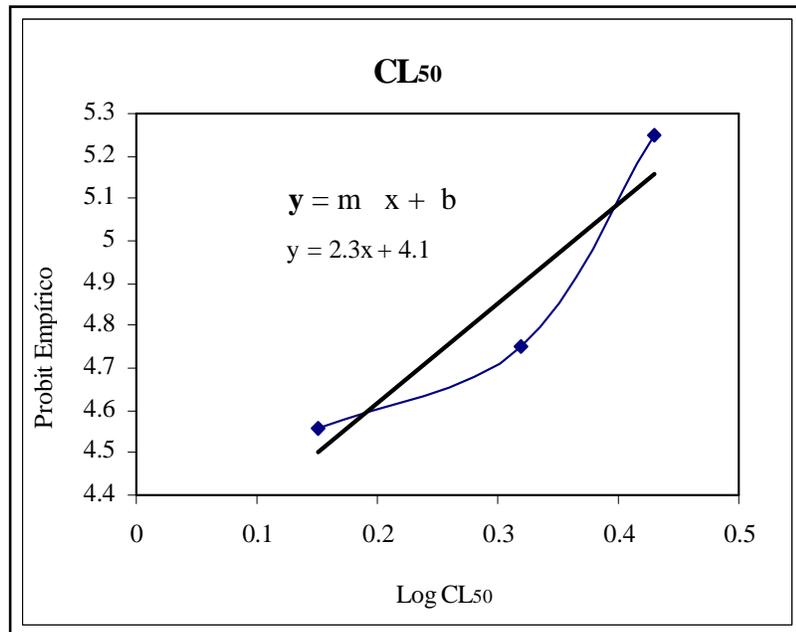
El Probit Empírico de la muestra de sedimento de la Dina con un porcentaje de mortalidad de 60 % fue de 5.25, el Probit Empírico de la muestra del Muelle fiscal con un porcentaje de mortalidad de 40 % fue de 4.75 y el Probit Empírico de la muestra del Ojo de agua con un porcentaje de mortalidad de 33 % fue de 4.56.

Posteriormente se graficaron los valores de Probit Empírico en el eje “y” y los valores de log de la concentración en el eje de las “x”, por medio del programa de Microsoft Excel 2003 (Fig. 7).



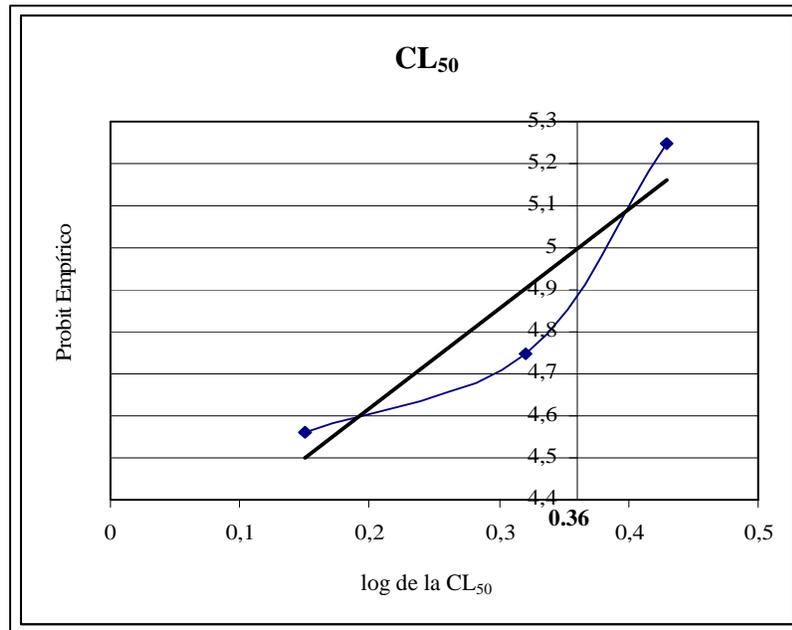
**Figura 7.** Representación gráfica del cálculo de la CL<sub>50</sub>.

Posteriormente se realizó el ajuste de la línea por el método de mínimos cuadrados empleando el programa de Microsoft Excel 2003. Con este método se determinaron los valores de los parámetros **m** (pendiente) y **b** (ordenada al origen) de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales (Fig.8). El valor de la pendiente (m) fue de 2.3 y este valor se utilizó para el cálculo del Probit Calculado (PC).



**Figura 8.** Ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados.

Para obtener el valor de log de la  $CL_{50}$  se trazó una recta perpendicular al eje “y” exactamente en el valor Probit igual a 5 (valor correspondiente a un % de mortalidad de 50 %) y en el punto de intersección con la recta ajustada se proyectó hacia el eje “x”. El valor del log de la  $CL_{50}$  fue de 0.36 (Fig. 9).



**Figura 9.** Representación grafica del log de la  $CL_{50}$ .

Con el valor de Log de la  $CL_{50}$  ( $x=0.36$ ), se procedió a determinar la concentración letal que elimina el 50 % de los organismos ( $CL_{50}$ ) mediante la siguiente relación:

$$CL_{50} = \text{Antilog}_{10} x \quad (\text{en } y = 5)$$

**Simplificando:**

$$x = \log CL_{50} = 0.36$$

**Por lo tanto:**

$$CL_{50} = \text{Antilog } 0.36 = 2.3 \text{ mg/l}$$

El valor de 2.3 mg/l representa la concentración teórica a la cual se detecta el 50% de mortalidad en los organismos expuestos.

### 3.1.2. Determinación del Probit Calculado

Para obtener PC (Probit Calculado) primero se determinó “S” que está definido como el rango de incremento en el Probit Empírico (PE) y tiene la siguiente relación:

$$S = \frac{X_2 - X_1}{PE_{Max} - PE_{Min}}$$

**Donde:**

$X_2$  y  $X_1$  = son los valores más bajos y más altos respectivamente obtenidos a partir de la concentración en log (x).

$PE_{Min}$  y  $PE_{Max}$  = son los valores mas bajo y más alto respectivamente obtenidos a partir del Probit Empírico (PE).

**Sustituyendo:**

$$S = \frac{0.43 - 0.15}{5.25 - 4.56}$$

$$S = \frac{0.28}{0.69} = 0.405 \approx 0.4$$

Una vez que se obtuvo el valor de “S” se calculó el Probit Calculado con la siguiente relación:

$$PC = 5 + \frac{\{X - m\}}{S}$$

**Sustituyendo:**

$$PC = 5 + \frac{\{2.7 - 2.3\}}{0.4} = 6$$

$$PC = 5 + \frac{\{2.1 - 2.3\}}{0.4} = 4.5$$

$$PC = 5 + \frac{\{1.43 - 2.3\}}{0.4} = 2.8$$

### 3.1.3. Determinación del Error Patrón.

Se procedió a realizar la tabla 5 con los datos obtenidos anteriormente, con la finalidad de determinar el Error Patrón. Se calculó el valor del factor ponderado (w) a partir de los valores de PC empleando la tabla 6. Para una concentración (X)= 0.43, el PC= 6 y el Factor Ponderado (w)= 0.439, para X= 0.32 el PC= 4.5 y el Factor Ponderado (w)= 0.581 y para un X= 0.15 el PC= 2.8 y el Factor Ponderado (w)= 0.092. Posteriormente se calcularon los productos de Nw, NwX, NwX<sup>2</sup>, finalmente se procedió a realizar la sumatoria de cada uno de los productos: la Sumatoria de Nw = 33.4, la sumatoria de NwX= 11.7 y la sumatoria de NwX<sup>2</sup> = 63.2

**Tabla 5. Error Patrón del log CL<sub>50</sub>**

log de la Concentración (X)	No. de Organismos (N)	Probit Calculado (PC)	Factor Ponderado (w)	Producto (Nw)	Producto (NwX)	Producto (NwX) <sup>2</sup>
0.43	30	6	0.439	13.17	5.6631	32
0.32	30	4.5	0.581	17.43	5.5776	31
0.15	30	2.8	0.092	2.76	0.414	0.17
<b>Sumatorias</b>				<b>33.4</b>	<b>11.7</b>	<b>63.2</b>

**Tabla 6. Factor Ponderado (w).**

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
<b>1</b>	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.006	0.008	0.01
<b>2</b>	0.015	0.019	0.025	0.031	0.040	0.050	0.062	0.076	<b>0.092</b>	0.11
<b>3</b>	0.131	0.154	0.180	0.208	0.238	0.269	0.302	0.336	0.370	0.40
<b>4</b>	0.439	0.471	0.503	0.532	0.558	<b>0.581</b>	0.601	0.616	0.627	0.63
<b>5</b>	0.637	0.634	0.627	0.616	0.601	0.581	0.558	0.532	0.503	0.47
<b>6</b>	<b>0.439</b>	0.405	0.370	0.336	0.302	0.269	0.238	0.208	0.180	0.15
<b>7</b>	0.131	0.110	0.092	0.076	0.062	0.050	0.040	0.031	0.025	0.01
<b>8</b>	0.015	0.011	0.008	0.006	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001	0.00

Una vez obtenido el factor ponderado ( $w$ ) y calculados los productos:  $Nw$ ,  $NwX$ ,  $NwX^2$  y sumatorias, se sustituyó en la siguiente relación:

$$ES \log CL_{50} = \left[ S^2 \left( \frac{1}{\sum Nw} \right) + \left( \frac{\sum Nw(m-z)^2}{\sum Nw(\sum NwX)^2 - (\sum NwX)^2} \right) \right]^{0.5}$$

**Donde:**

**ES**= Error Estándar

**S**= Intervalo de Incremento

**m**= Pendiente obtenida por mínimos cuadrados

**Nw**= 33.4

**NwX**= 11.7

**(NwX)<sup>2</sup>**= 63.2

El valor de  $z$  se calculó con la siguiente formula:

$$z = \frac{NwX}{Nw}$$

**Sustituyendo:**

$$z = \frac{11.7}{33.4} = 0.35$$

**Sustituyendo:**

$$ES \log CL_{50} = \left[ (0.4)^2 \left( \frac{1}{33.4} \right) + \left( \frac{33.4(2.3 - 0.35)^2}{33.4(63.2) - 63.2} \right) \right]^{0.5}$$

$$ES \log CL_{50} = \left[ 0.16(0.030) + \left( \frac{33.4(3.8)}{2110.88 - 63.2} \right) \right]^{0.5}$$

$$ES \log CL_{50} = \left[ 4.8 \times 10^{-03} + \left( \frac{126.92}{2047.68} \right) \right]^{0.5}$$

$$ES \log CL_{50} = [0.0710]^{0.5}$$

$$ES \log CL_{50} = 0.27$$

El intervalo de confianza de la  $CL_{50}$  está dado por la siguiente relación:

$$IC CL_{50} = (CL_{50}) (ES \log CL_{50}) (Ln_{10})$$

**Sustituyendo:**

$$IC CL_{50} = (2.3) (0.27) (2.3025)$$

$$IC CL_{50} = 1.4298525 \approx 1.43 \text{ mg/l}$$

Por lo tanto, la  $CL_{50}$  obtenida, con el intervalo (95% de confiabilidad estadística) correspondiente es:

$$CL_{50} = 2.3 \text{ mg/l} \pm 1.43$$

**3.1.4. Determinación de las Unidades de Toxicidad (U.T.).**

Se realizó la determinación de las Unidades de Toxicidad (grado de toxicidad de un efluente, o la concentración de una sustancia expresada como una fracción del punto final de toxicidad medido: 1/CL50) mediante la siguiente formula:

$$U.T. = \frac{1}{CL_{50}} * 100$$

**Donde:**

**U.T.** = Unidades de Toxicidad Aguda

**CL<sub>50</sub>** = Concentración teórica que origina el 50% de mortalidad de organismos expuestos con la muestra evaluada.

**Sustituyendo:**

$$U.T. = \frac{1}{2.3} * 100$$

$$U.T. = 0.43$$

### 3.2. Evaluación de la tolerancia de *Capitella cf. capitata* por el método Probit mediante el cálculo de la CL<sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.

#### 3.2.1. Determinación de la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>).

La concentración letal media (CL<sub>50</sub>) se calculó por el Método Probit. Se elaboró la Tabla 7 con los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad. Las concentraciones de materia orgánica que se obtuvieron de las estaciones de la Dina, Muelle fiscal y Ojo de agua fueron de 2.7 mg/l, 2.1 mg/l y 1.43 mg/l de C.O. respectivamente. Se emplearon 30 organismos (de *Capitella cf. capitata*) para cada muestra de sedimento con diferente concentración de materia orgánica. Durante veinte días de exposición *Capitella cf. capitata* en las muestras de sedimento, se observó una mortandad de 10 organismos en la muestra de sedimento de la Dina lo cual corresponde al 33 % de mortalidad, en la muestra de sedimento del Muelle fiscal se registraron 8 organismos muertos que corresponde el 27 % de mortalidad y en la muestra de sedimento del Ojo de agua se registraron 5 organismos muertos que corresponde al 17 % de mortalidad.

**Tabla 7. Resultados obtenidos durante la realización del bioensayo con *Capitella cf. capitata*.**

<b>Concentración en mg/l</b>	<b>No. organismos expuestos por concentración</b>	<b>No. organismos muertos por concentración</b>	<b>% Mortalidad por concentración</b>
<b>2.7</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>33</b>
<b>2.1</b>	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>27</b>
<b>1.43</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>17</b>

Para cada concentración de materia orgánica se calculó el log, resultando el log de 2.7 mg/l (Dina) fue de 0.43, el log de 2.1 mg/l (Muelle fiscal) fue de 0.32 y el log de 1.43 mg/l (Ojo de agua) fue de 0.15. Posteriormente, se calculó el valor de Probit Empírico relacionando el porcentaje de mortalidad de cada concentración (Tabla 8) con los valores de la Tabla 9 que se obtuvo de la Norma Oficial Mexicana (Prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (crustáceo-cladóceros) método de prueba).

**Tabla 8. Datos de toxicidad de *Capitella cf. capitata* para el Método Probit.**

Concentración mg/l	Log <sub>10</sub> de la Concentración (X)	No. De Organismos (N)	Mortalidad Observada (r)	% de Mortalidad (P)	Probit Empírico (EP)
2.7	0.43	30	10	33	4.56
2.1	0.32	30	8	27	4.39
1.43	0.15	30	5	17	4.05

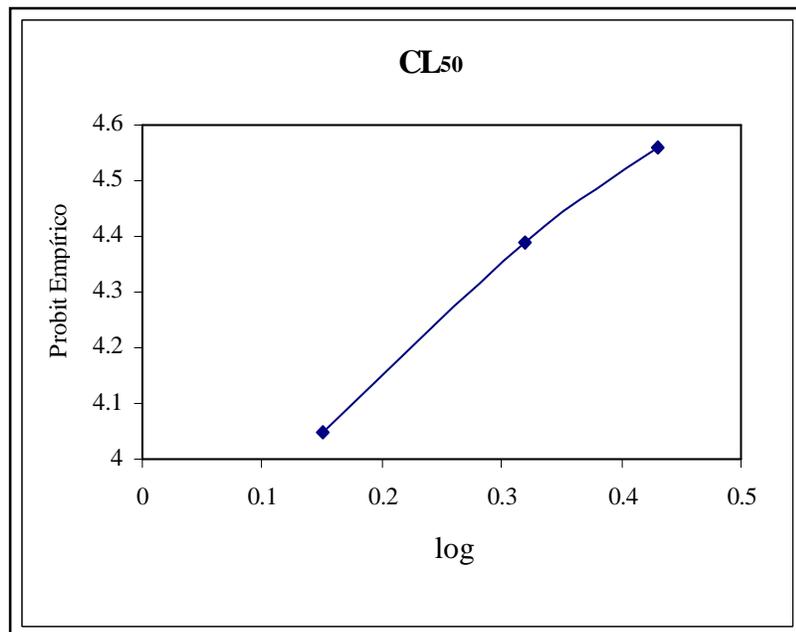
**Tabla 9. Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad.**

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	<b>4,05</b>	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	<b>4,39</b>	4,42	4,45
<b>30</b>	4,48	4,50	4,53	<b>4,56</b>	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>

**a** \* valores entre 99.0 y 99.9

El Probit Empírico de la muestra de sedimento de la Dina con un porcentaje de mortalidad de 33 % fue 4.56, el Probit Empírico de la muestra de sedimento del Muelle fiscal con un porcentaje de mortalidad de 27 % fue de 4.39 y el Probit Empírico de la muestra del Ojo de agua con un porcentaje de mortalidad de 17 % fue de 4.05.

Posteriormente se graficaron los valores de Probit Empírico en el eje “y” y los valores de log de la concentración en el eje “x”, por medio del programa de Microsoft Excel 2003 (Fig. 10).



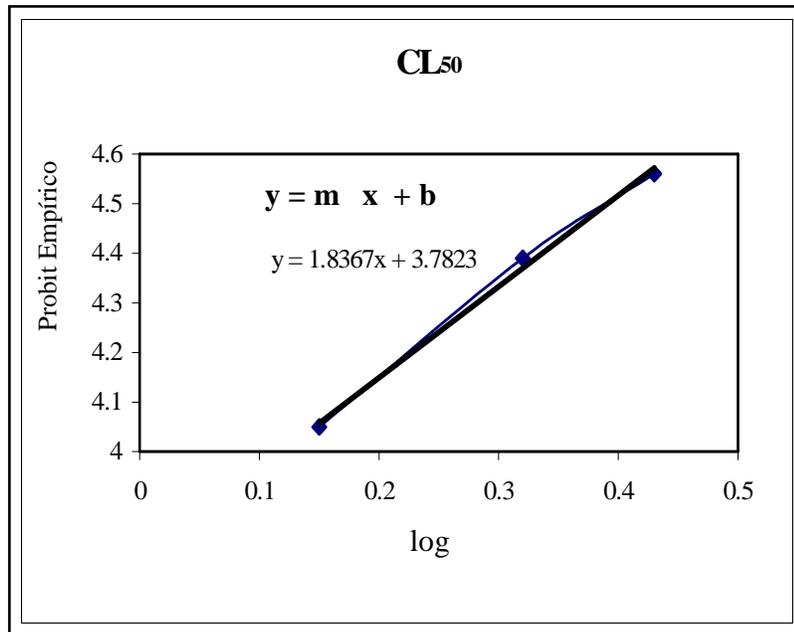
**Figura 10.** Representación gráfica del cálculo de la CL<sub>50</sub>.

Posteriormente se realizó el ajuste de la línea por el método de mínimos cuadrados, utilizando la siguiente ecuación de la recta:

$$y = m x + b$$

Con este método se determinaron los valores de los parámetros **m** (pendiente) y **b** (ordenada al origen) de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales. El valor de

la pendiente (m) fue de 1.8. Para obtener el valor de log de la  $CL_{50}$  se trazó una recta perpendicular al eje “y” exactamente en el valor Probit igual a 5 (valor correspondiente a un % de mortalidad de 50 %) y en el punto de intersección con la recta ajustada se proyectó hacia el eje “x”, pero no se logró obtener la  $CL_{50}$  debido a que los valores de Probit Empírico no alcanzaron interceptar con los valores de la log (Figura 11).

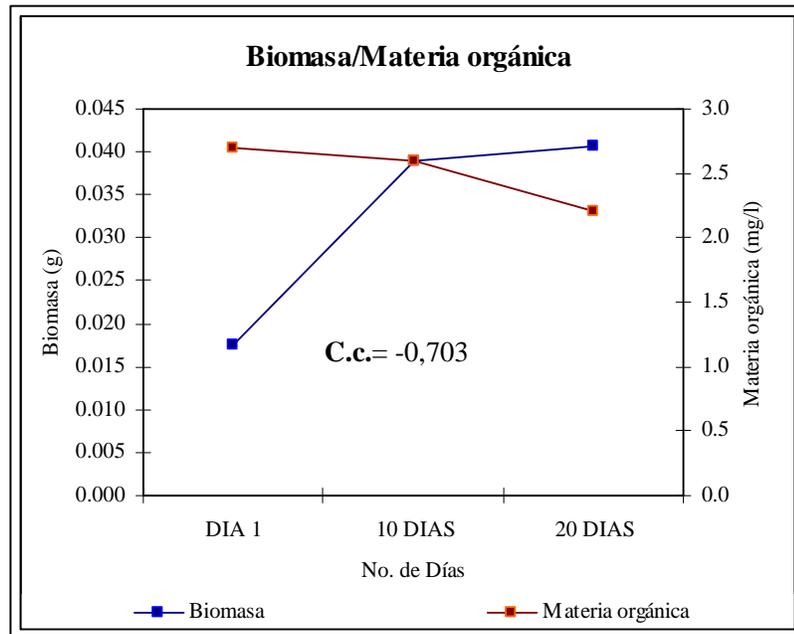


**Figura 11.** Ajuste de la Recta por el Método de Mínimos Cuadrados.

### 3.3. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Laeonereis culveri* con tres diferentes muestras de sedimento.

#### 3.3.1. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Laeonereis culveri* con muestras de sedimento de la Dina.

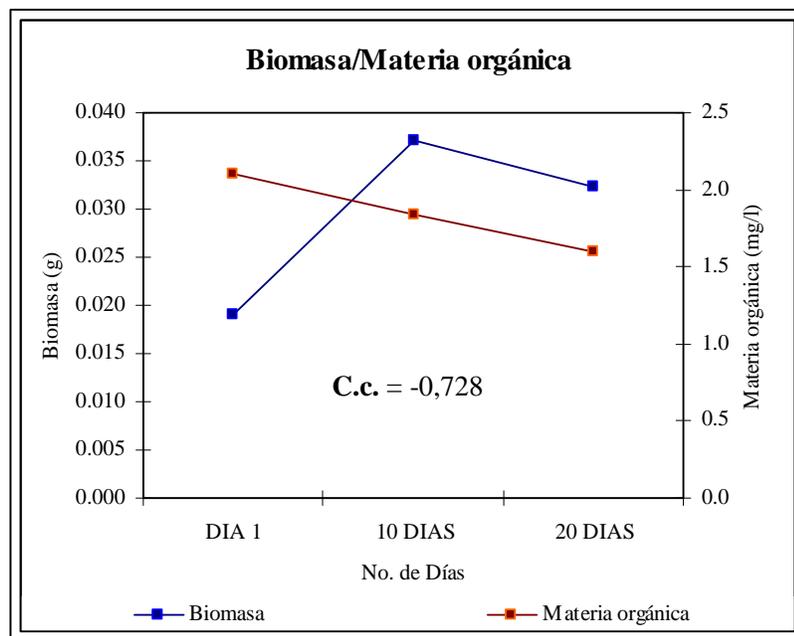
Los siguientes resultados presentan solamente los promedios que se obtuvieron de las tres réplicas en el bioensayo de la evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Laeonereis culveri*, durante veinte días de exposición. La concentración de materia orgánica inicial presente en la muestra de la Dina fue de 2.7 mg/l de carbono orgánico (C.O.), a los diez días el promedio disminuyó a 2.6 mg/l de C.O y finalmente a los veinte días fue de 2.2 mg/l de C.O. El promedio inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0175 g, a los diez días el promedio aumentó 0.0389 g y a los veinte días se incrementó a 0.0406 g. El coeficiente de correlación (C.c.) entre las variables de biomasa de *Laeonereis culveri* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -0.703 (Fig. 12).



**Figura 12.** Relación entre la biomasa de *Laeonereis culveri* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento de la Dina.

### 3.3.2 Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Laonereis culveri* con muestra de sedimento del Muelle fiscal.

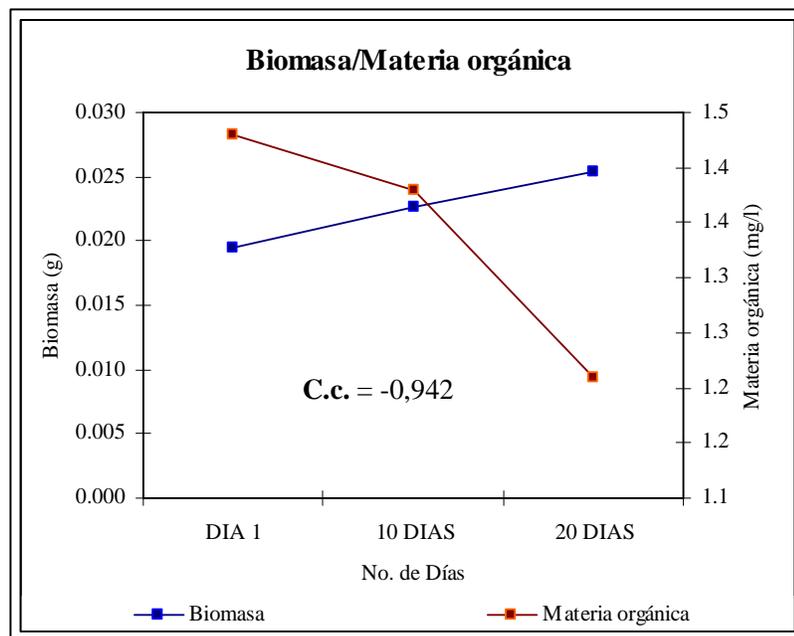
La concentración de materia orgánica inicial presente en la muestra del Muelle fiscal fue de 2.1 mg/l de C.O., a los diez días el promedio disminuyó a 1.84 mg/l de C.O. y a los veinte días fue de 1.60 mg/l de C.O. El promedio inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0191 g, a los diez días el promedio aumentó a 0.0371g y a los veinte días disminuyó a 0.0324 g. El coeficiente de correlación (C.c) entre las variables de biomasa de *Laonereis culveri* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -0.728 (Fig. 13).



**Figura 13.** Relación entre la biomasa de *Laonereis culveri* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento del Muelle fiscal.

### 3.3.3 Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Laonereis culveri* con sedimento del Ojo de agua.

La concentración de materia orgánica inicial presente en el Ojo de agua fue de 1.43 mg/l de C.O., a los diez días el promedio disminuyó a 1.38 mg/l de C.O. y a los veinte fue de 1.21 mg/l de C.O. El promedio inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0194 g, a los diez días aumentó a 0.0226 g y a los veinte días se incremento a 0.0254 g. El coeficiente de correlación entre las variables de biomasa de *Laonereis culveri* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -0.942 (Fig. 14).

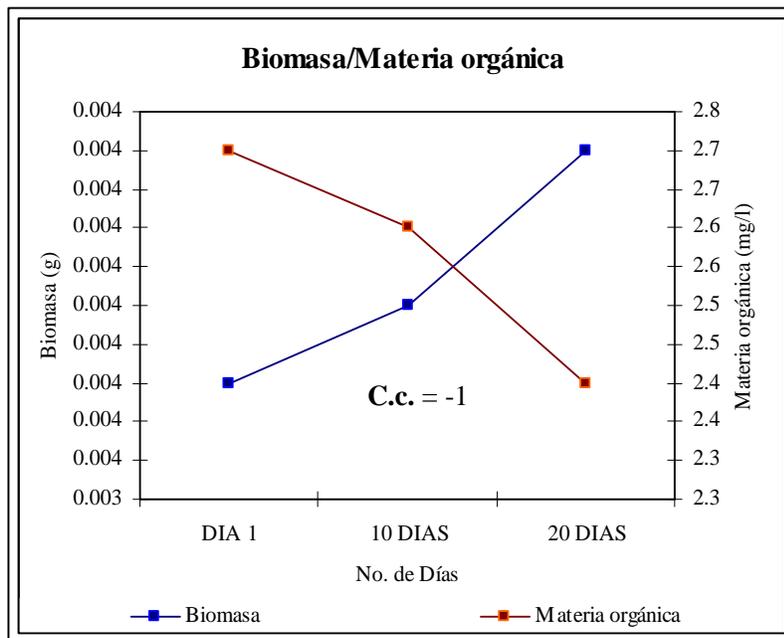


**Figura 14.** Relación entre la biomasa de *Laonereis culveri* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento del Ojo de agua.

### 3.4. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata* con tres diferentes muestras de sedimento.

#### 3.4.1. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata* con muestra de sedimento de la Dina.

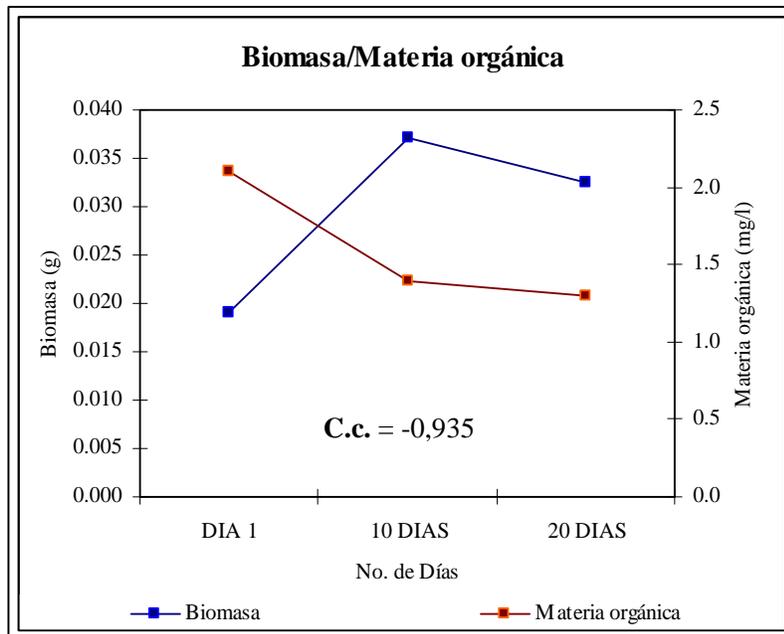
Los siguientes resultados presentan solamente los promedios que se obtuvieron de las tres réplicas en el bioensayo de la evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata*, durante veinte días de exposición. La concentración de materia orgánica inicial presente en la muestra de la Dina fue de 2.7 mg/l de C.O., a los diez días el valor disminuyó a 2.6 mg/l de C.O. y a los veinte días fue de 2.4 mg/l de C.O. El valor inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0036 g, a los diez días aumentó a 0.0037g y a los veinte días se incremento a 0.0039 g. El coeficiente de correlación entre las variables de biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -1 (Fig. 15).



**Figura 15.** Relación entre la biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento de la Dina.

### 3.4.2. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata* con muestra de sedimento del Muelle fiscal.

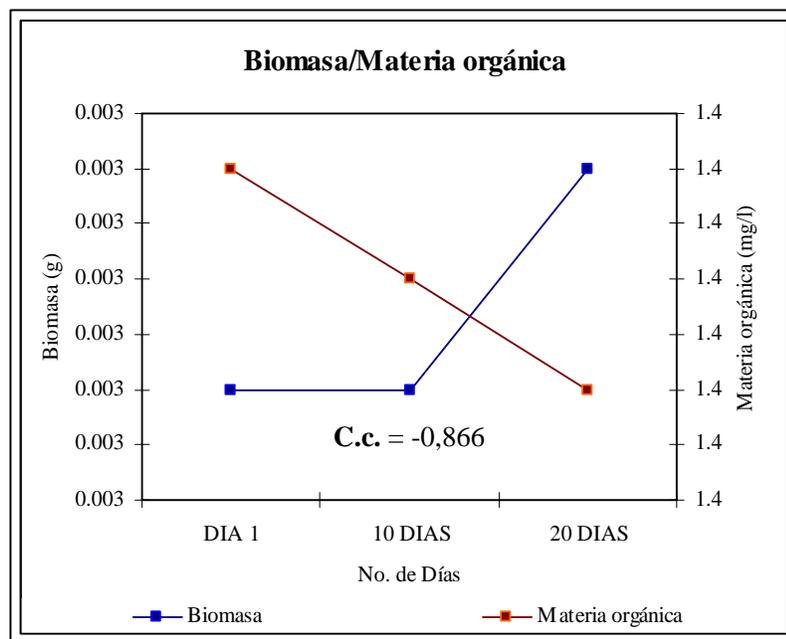
La concentración de materia orgánica inicial presente en la muestra del Muelle fiscal fue de 2.1 mg/l de C.O., a los diez días el valor disminuyó a 1.4 mg/l de C.O y a los veinte días fue de 1.3 mg/l de C.O. El promedio inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0191 g, a los diez días el promedio aumentó a 0.0371 g y a los veinte días disminuyó a 0.0325 g. El coeficiente de correlación entre las variables de biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -0.935 (Fig.16).



**Figura 16.** Relación entre la biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento del Muelle fiscal.

### 3.4.3. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica mediante la biomasa de *Capitella cf. capitata* con muestra de sedimento del Ojo de agua.

La concentración de materia orgánica inicial presente en la muestra del Ojo de agua fue de 1.43 mg/l de C.O., a los diez días disminuyó a 1.41 mg/l de C.O. y a los veinte días fue de 1.39 mg/l de C.O. El promedio inicial de la biomasa de los treinta organismos fue de 0.0030 g, a los diez días el promedio de la biomasa se mantuvo constante a 0.0030 g y a los veinte días el promedio aumento a 0.0032 g. El coeficiente de correlación entre las variables de biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica durante los veinte días de exposición fue de -0.866 (Fig. 17).



**Figura 17.** Relación entre la biomasa de *Capitella cf. capitata* y la concentración de materia orgánica con muestra de sedimento del Ojo de agua.

## IV. DISCUSIÓN

### **4.1. Evaluación de la tolerancia de *Laeonereis culveri* por el método Probit mediante el cálculo de la CL<sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.**

Hasta la fecha no existían estudios donde se evaluara la tolerancia de los poliquetos en materia orgánica, mucho menos en *Laeonereis culveri*, siendo el presente trabajo el primero que lo realiza. Sin embargo, se han hecho pruebas donde se evalúa la toxicidad en metales pesados con algunas especies de la familia Nereididae. Se puede observar que en pruebas de toxicidad (Tabla 10), mayormente se emplea a *Neanthes arenaceodentata* y *Nereis virens*; con la primera especie expuesta a cadmio se obtuvo una CL<sub>50</sub> de 6.1 mg/l, mientras que para *Nereis virens* expuesta al mismo metal, se obtuvo una CL<sub>50</sub> de 11.0 mg/l en un periodo de 28 días para ambas especies, estos resultados nos dicen que *Neanthes arenaceodentata* es mucho más sensible al cadmio que *Nereis virens*, porque se requiere de menos concentración para eliminar el 50% de los organismos. Estos resultados muestran la sensibilidad de las especies y que, ésta puede variar dependiendo de las sustancias tóxicas a evaluar (Neff 1987); ya que la toxicidad de un compuesto depende tanto de la concentración como del tiempo y la forma en que se ponga en contacto con los organismos, de manera que es posible hablar de sustancias con distinto grado de toxicidad (Martínez, 1991).

**Tabla 10. Toxicidad de metales traza en diferentes especies de Nereididae (Reish, 1984).**

Compuesto	Especie	CL50 Tiempo específico (día o h)	(mg/l <sup>-1</sup> )	Referencias Bibliográficas
<b>Aluminio</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	7 d	2.0	Petrich y Reish, 1979
<b>Cadmio</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	6.1	Reish, 1980a
	<i>Nereis virens</i>	28 d	11.0	Eisler, 1980a
<b>Cromo</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	29 d	0.6	Reish, 1980a
	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	7 d	1.7	Mearns, 1974
	<i>Nereis virens</i>	21 d	1.0	Raymont y hields, 1963
<b>Cobre</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	0.044	Pesch y Morgan, 1978
<b>Plomo</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	3.2	Reish, 1980a
	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	0.17	Reish, 1980a
	<i>Nereis virens</i>	96 h	0.07	Eisler y Hennekey, 1977
<b>Mercurio</b>				
<b>Níquel</b>	<i>Nereis virens</i>	96 h	25	Eisler y Hennekey, 1977
<b>Plata</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	0.165	Pesch y Hoffman, 1983
<b>Zinc</b>	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	28 d	3.0	Reish, 1980a
	<i>Neanthes vaali</i>	96 h	5.5	Eisler y Hennekey, 1977
	<i>Nereis virens</i>	96 h	8.1	Reish, 1980a

Se evaluó mediante el Método Probit la tolerancia de *Laeonereis culveri* en sedimento con tres diferentes concentraciones de materia orgánica (Dina (2.7 mg/l), Muelle fiscal (2.1 mg/l) y ojo de agua (1.43 mg/l)) en un periodo de 20 días. Se obtuvo una concentración letal media ( $CL_{50}$ ) de 2.3 mg/l, este valor significa que a una concentración de 2.3 mg/l se elimina el 50% de los organismos.

La muestra de sedimento de la Dina excedió la  $CL_{50}$ , por lo tanto, fue la muestra donde se obtuvo la mayor mortandad (18 organismos) durante el bioensayo, seguidamente por el Muelle fiscal (12 organismos) y por ultimo la muestra del Ojo de agua (10 organismos). Es importante señalar que originalmente *Laeonereis culveri* en su ambiente natural (Congreso) se encontraba con una concentración de 1.99 mg/l de C (diferencia de 0.3 mg/l de C con respecto a la  $CL_{50}$ ), esto significa, que posiblemente en el sitio del Congreso en un tiempo no muy largo se pueda observar una disminución de *Laeonereis culveri* en ese sitio y en lugar de ello empiece la proliferación de especies oportunistas.

Se obtuvo un 43% de Unidades de Toxicidad, la cual representa una extrapolación altamente simplificada para pasar datos de toxicidad de laboratorio al ambiente. Este tipo de datos resulta más visual y práctico al momento de realizar evaluaciones ambientales, ya que el valor numérico se incrementa con el aumento de la toxicidad de un determinado compuesto o muestra compleja (US EPA, 1993).

#### **4.2. Evaluación de la tolerancia de *Capitella cf. capitata* por el método Probit mediante el calculo de la CL<sub>50</sub> en sedimentos contaminados con diferentes concentraciones de materia orgánica.**

*Capitella cf. capitata* es considerada como una especie tolerante por su abundancia en sedimentos orgánicamente contaminados (Reish, 1959; Bellan, 1967; Pearson y Rosenberg, 1978); debido a que su ciclo de vida es muy corto, se reproduce varias veces al año con la producción de muchas larvas en cada puesta, de esta manera se adapta a las perturbaciones (como las descargas de desechos) mediante reproducciones continuas, por eso se considera como la "reina de los indicadores marinos", de manera que los grados de contaminación se basan, en gran medida, en su abundancia comparada con la de otros poliquetos (Méndez, 2003). Esto explica, la baja mortandad obtenida durante la prueba, ya que *Capitella cf. capitata* tiende a adaptarse a las condiciones, logrando su sobrevivencia, debido a lo antes mencionado, no se pudo obtener la CL<sub>50</sub> de *Capitella cf. capitata* para este bioensayo, ya que se requeriría de otra muestra de sedimento que se encuentre por arriba de 2.7 mg/l, concentración que no se encontró en el área de estudio.

En otros estudios de toxicidad empleando a *Capitella* en metales traza con organismos en estado larval (trocófora) y adultos (Tabla 11), se observó que los primeros son los más recomendables, ya que tienden a ser más tolerantes y esto se debe a que el organismo puede manipularse de tal manera que se encuentre en óptimas condiciones en el momento de emplearlo en una prueba y pueda así reflejar los efectos que un agente le ocasiona durante su ciclo de vida. Por todo lo anterior, *Capitella cf. capitata* ha sido sujeto de varias experimentos ecológicos e investigaciones en todo el mundo (Grassle y Grassle, 1974; Tsutsumi, 1987; Forbes et al., 1994). Sin embargo, cabe mencionar que *Capitella capitata* es un complejo de especies, ya que se ha comprobado que bajo este mismo nombre pueden encontrarse más de cinco especies.

**Tabla 11. Revisión de literatura sobre toxicidad de metales traza de la familia Capitellidae (Reish, 1984).**

Compuesto	Especie	CL50 Tiempo específico (día o h)	(mg/l <sup>-1</sup> )	Referencias Bibliográficas
<b>Aluminio</b>	<i>Capitella capitata</i>	7 d	2.0	Petrich y Reish, 1979
<b>Cadmio</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	28 d	0.2	Reish et al., 1976 Reish et al., 1976
<b>Cromo</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	96 h 28 d	8.0 0.3	Reish et al., 1976 Reish, 1977
<b>Cobre</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	28 d	0.18 0.2	Reish, 1980a Reish, 1980a
<b>Plomo</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	28 d	1.2 1.0	Reish, 1980a Reish, 1980a
<b>Mercurio</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	1.5 d	0.014 0.04	Warren, 1976 Reish, 1980a
<b>Níquel</b>	<i>Capitella capitata</i>	7 d	50	Petrich y Reish, 1979
<b>Zinc</b>	<i>Capitella capitata</i> Trocófora Adultos	96 h 28 d	1.7 1.25	Reish, 1980a Reish et al., 1974

De acuerdo a la tabla 11, podemos decir que la  $CL_{50}$  varía de acuerdo al tiempo de exposición y el tipo de compuesto, y en el caso de *Capitella capitata* también depende del estado en que se encuentre (larval o trocófora). *Capitella capitata* expuesta en cromo en su estado larval (trófora) tiene un  $CL_{50}$  de 8.0 mg/l en un periodo de 96 horas, pero en estado adulto la  $CL_{50}$  es de 0.3 mg/l en 28 días. Con estos resultados se puede observar que el cromo en *Capitella capitata* en su estado larval requiere de mucha más concentración para eliminar el 50% de los organismos, mientras que en estado adulto requiere menor concentración pero más tiempo para que el cromo elimine el 50% de los organismos.

### 4.3. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica de *Laeonereis culveri*.

Los nereídidos son organismos infaunales (al vivir enterrados en la arena) y alimentadores de depósito, por lo que obtienen sus requerimientos nutricionales al ingerir sedimento con contenido orgánico, estos incluyen una amplia variedad de partículas como granos, minerales, detrito, diatomeas, protozoarios, metazoarios y también dependiendo del tamaño del alimento son considerados como micrófagos y polífagos (López y Levinton, 1987). Muchos de los estudios han demostrado la habilidad que tienen los alimentadores de depósito al seleccionar partículas finas que probablemente contienen un alto contenido orgánico. Lo anterior se confirma con los resultados obtenidos durante la prueba, ya que se observó un aumento en la biomasa de *Laeonereis culveri* (Dina con 0.0175 a 0.0406 g, Muelle fiscal de 0.0191 a 0.0324 g y Ojo de agua de 0.0194 a 0.0254 g), mientras que la concentración de materia orgánica presentó una disminución (Dina de 2.7 a 2.2 mg/l, Muelle Fiscal 2.1 a 1.60 mg/l y Ojo de agua 1.43 a 1.21 mg/l) durante los veinte días de exposición. Estos valores nos indican la ingesta de sedimento con materia orgánica de *Laeonereis culveri*; evaluándose estos resultados mediante el coeficiente de correlación, obteniendo para la Dina un coeficiente de correlación de -0.703, para el Muelle fiscal de -0.728 y para el Ojo de agua de -0.942, por lo tanto, el comportamiento que se obtuvo del coeficiente de correlación fue inversamente proporcional, esto significa, que cuando una de las variables tiende a subir la otra disminuye. La muestra que presentó la mayor disminución en la concentración de materia orgánica fue el Muelle fiscal.

También se conoce que muchos nereídidos son herbívoros alimentándose de algas y diatomeas como es el caso de *Neanthes arenaceodentata*, *Neanthes brandti*, *Perinereis cultrifera*, *P. marioni*, *Platynereis bicanaliculata*, *P. dumerilii*, y *P. massiliensis*, otros son carnívoros como *Nereis grubei*, y omnívoros como *Nereis vexillosa* y *Nereis diversicolor*, y también estas especies son capaces de absorber materia orgánica disuelta (Southward y Southward, 1972 a, b; Stephens, 1975).

#### 4.4. Evaluación del consumo de sedimento contaminado por materia orgánica de *Capitella cf. capitata*.

Los capitélidos al ser infaunales o el lodo, se alimentan generalmente de materia orgánica adherida a los granos, contribuyendo de ésta manera al reciclaje de materia orgánica del sedimento (Méndez, 2003), de igual manera removiendo el sedimento contaminado por sustancias tóxicas (Méndez et al. 2001). En otro estudio Méndez et al. (2002), evaluaron los efectos del cadmio en sedimento con varias especies de *Capitella* y demostraron que cada gusano de *Capitella* puede procesar en promedio 3.11 mg de sedimento por día en *Capitella* sp I y 0.972 mg de sedimento por día en *Capitella* sp. B. Así mismo, en el presente estudio se observó que *Capitella cf. capitata* al ingerir el sedimento aumentó su biomasa: Dina de 0.0036 a 0.0039 g, Muelle fiscal de 0.0191 a 0.0325 g y Ojo agua de 0.0030 a 0.0032 g, mientras que la concentración de materia orgánica disminuyó: Dina de 2.7 a 2.4 mg/l de C, Muelle fiscal de 2.1 a 1.3 mg/l de C y Ojo de agua de 1.43 a 1.39 mg/l de C, durante los veinte días de exposición. Las variables de biomasa y materia orgánica se evaluaron mediante el coeficiente de correlación, obteniéndose para la Dina -1, un valor de esto significa que existe una correlación negativa perfecta, es decir cuando una de las variables (biomasa) aumenta la otra variable (materia orgánica) disminuye en la misma proporción. En cuanto a la muestra del Muelle fiscal se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.935 y del Ojo de agua de -0.866, es decir, la correlación fue inversamente proporcional para ambos casos, esto significa que cuando el valor de una de las variables tiende a subir la otra disminuye.

## V. CONCLUSIONES

La evaluación del consumo de sedimento, mostró que *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata* presentaron una correlación inversamente proporcional, ya que se incrementó su biomasa y disminuyó la cantidad de materia orgánica en el sedimento.

*Capitella cf. capitata* consumió mayor cantidad de materia orgánica que *Laeonereis culveri*.

Con respecto a la tolerancia de materia orgánica, para *Laeonereis culveri* se obtuvo una CL<sub>50</sub> de 2.3 mg/l de carbono orgánico; siendo ésta la concentración teórica que elimina el 50% de los organismos.

De las muestras de sedimento que se emplearon en los bioensayos, el de la Dina presentó la mayor mortandad de organismos de *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata* respectivamente, por la concentración de materia orgánica que presentó la muestra de sedimento (2.7 mg/l de carbono orgánico).

Debido a la tolerancia de *Capitella cf. capitata* a la materia orgánica, no se logró obtener la CL<sub>50</sub>.

**VI. RECOMENDACIONES.**

**1.-** Se recomienda dar seguimiento a la evaluación del consumo y tolerancia en sedimento contaminado por materia orgánica, en otras especies de poliquetos. Con la finalidad de contar con una base que nos permita, en un futuro, comparar los datos y para la toma de decisiones.

**2.-** Sería factible realizar la evaluación de la tolerancia con *Capitella* cf. *capitata*, empleando concentraciones de materia orgánica por arriba de 2.7 mg/l de carbono orgánico, para obtener la CL<sub>50</sub>.

**3.-** Se recomienda llevar a la aplicación a *Capitella* cf. *capitata* con proyectos a micro-escala, por ejemplo; exponerlos a sedimentos enriquecidos orgánicamente proveniente de diferentes sitios, o bien, con lodos activados de plantas de tratamiento, para verificar su eficiencia y factibilidad y poder proponerlos como organismo biorremediadores.

**4.-** Se recomienda emplear a *Laonereis culveri* como organismo idóneo para la realización de bioensayos, debido a su sensibilidad, abundancia y fácil manipulación.

## LITERATURA CITADA

- Akesson B. 1970. *Ophyotrocha labronica* as a test animal for study of marine pollution. Helgolander wiss. Meeresunters. 20: 293-303.
- Akesson B. 1975. Bioassay studies with polychaetes of the genus *Ophryotrocha* as test animals. p. 121-155. In: Sublethal effects of toxic chemicals on aquatic animals.
- Baldy, V. Gessner, M.O. y Chauvet, E. 1995. Bacteria, fungi and the breakdown of leaf litter in a large river. *Oikos* 74: 93-102.
- Bellan G., 1967. Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première Partie. Le Secteur de Cortiou. Rev.Int. Océanogr. Méd. Fr., VI-VII: 53-87.
- Bellan G., D.J. Reish, and J.P. Foret. 1972. The sublethal effects of detergent on the reproduction, development, and settlement in the polychaetous annelid *Capitella capitata*. Mar. Biol. 14:183-188
- Bellan G., 1984. Indicateurs et indices biologiques dans le domaine marin. Bull. Ecol. Fr., 15(1): 13-20.
- Bellan, G. 1985. Effects of pollution and man-made modifications on marine benthic communities in the Mediterranean: A review. Pp 16-194 En Mediterranean Marine Ecosystems: M. Moraitou-Apostolopoulou y V. Kiortsis (eds.). Plenum, New York
- Cano, G. y Flores, R. 1990. Variaciones nictemareales de bacterias coniformes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, Oficina coord. Progr. Contam. Mar. Armada de Mexico, 14pp.
- Cañete, J.I., G. Leighton y E. Soto. 2000. Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de Bahía Quintero, Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 35: 185-194
- Carrasco, F.D. 1998. Macrobentos marino y vigilancia ambiental: el sublitoral de fondos blandos de Punta Coloso. En: D. Arcos (Ed.). Minería del Cobre, Ecología y Ambiente costero. Ed. Aníbal Pinto S.A. 245-275 pp.
- Carrasco, F.D. y V. Gallardo. 1989. La contaminación marina y el valor de la macroinfauna bentónica en su evaluación y vigilancia: casos de estudio en el litoral de Concepción, Chile. Biología Pesquera, 18: 15-27.

- Davis J. 1977. Standardización and protocols of bioassays, their role and significance for monitoring, research and regulatory usage. Aquatic Toxicity Workshop. Halifax, Nova Scotia pp. 1-14.
- Delgado-Blas, V.H. 2001. Distribución espacial y temporal de poliquetos (Polychaeta) bénticos de la plataforma continental de Tamaulipas, Golfo de Mexico. Rev. Biol. Trop. 49(1): 141-147.
- Delgado Blas, V.H., J.G. Kuk Dzul. H.A. Hernández Arana. J.L. González Bucio y J. C. Ávila Reveles. 2006. Reporte técnico: Análisis de las comunidades de poliquetos bénticos como biomonitores de enriquecimiento orgánico en la Bahía de Chetumal Quintana Roo.
- Delgado, J. y Chavira, D. 1984. Estudio preliminar de la Bahía de Chetumal, Q. Roo, Acciones de convenio, SEDUE-SEDEMAR, Archivo Delegación SEDUE, 21 pp.
- De La Lanza, G. 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. An. Inst. Cienc. del Mar y Linol. Univ. Nal. Autón. Mexico. 13(1): 251-286.
- Dorsey, J.H. 1982. Intertidal community offshore from the Werribee sewage-treatment faro: An opportunistic infaunal assemblage. Austr. J. Mar. Freshw. Res.33:45-54.
- Duursma, E.K. and M. Marchand, 1974. Aspects of organic marine pollution. Ann. Rev. Oceanogr. Mar. Biol. 12:315-431.
- Elías, R. & Bremen, 1998. Polychaetes assemblages in a Southern shallow shelf affected by sewage discharge.- 6th International Polychaete Conferene, 3 al 7 de agosto de 1998, Curitiba, Brasil.
- Escobar A. 1986. Geografía General del Estado de Q. Roo. Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Fernández, M., A. Roux, E. Fernández, J. Caló, A. Marcos y H. Aldacur. 2003. Grain-size analysis of superficial sediments from Golfo San Jorge, Argentina. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 83:1193-1197.
- González-Escalante, L.E. & S.I. Salazar-Vallejo. 2003. A new estuarine species, *Nereis garwoodi* (Polychaeta: Nereididae) from Bahía Chetumal, Mexican Caribbean coast. Revista de Biología Tropical 51:155-164
- Gray, J. S (1981). The ecology of marine sediments. An introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 185p.
- Grizzle, R. E., L. G. Ward, R. Langan, G. M. Schnaittacher, J. A. Dijkstra y J. R. Adams. 2003. Enviromental monitoring at an open ocean aquaculture site in the gulf of

- marine: results for 1997-2000. In: Bridger C. J. and B. A. Costa-Pierce.(Eds). Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, USA. 105-117.
- Hansen, P. K., A. Ervik, M. Schaanning, P. Johannessen, J. Aure, T. Jahnsen y A. Stigebrandt. 2001. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring). *Aquaculture*. 194: 75-92.
- Knuts, Nielsen Y. 1976. *Fisiología Animal: adaptación y medio ambiente*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España. 320 pp.
- Kurihara, Y. 1983. Study of domestic sewage waste treatment by the polychaetes *Neanthes japonica* and *Perinereis nuntia vallata*, on an artificial tidal flat. *Inter. Rev. ges. Hydrobiol.* 68:649-670
- Levin, L.A., 1998. Polychaetes as environmental indicators: response to low oxygen and organic enrichment. 6th . International Polychaete Conferene, 3 al 7 de agosto de 1998, Curitiba, Brasil.
- Lu, L. y R.S.S. Wu. 1998. Recolonization and sucesion of marine macrobenthos in organicenriched sediment deposited from fish farms. *Environmental Pollution*. 101: 241-251.
- Marivela, C., Guerrero, C., López, L., Sánchez, V. y Toledo, A.2002. Metales pesados y medio ambiente. Grupo de seminario 1-26, Barcelona, España.
- Mason, C.F. 1976. Relative importance of fungi and bacteria in the decomposition of *Phragmites* leaves. *Hydrobiologia* 51:65-69
- Mattson, J. and M. Notini, 1985. Experimental recolonization by macrozoobenthos in a bay polluted by municipal sewage, oil and heavy metals compared to a n unpolluted baltic bay. *Ophelia* 24:111-124
- Méndez, M. N., V. Solis y A Carranza. 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del estado de Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*. 13 (3): 45-56.
- Méndez, M. N. 1988. Polychaete Worms associated to six types of substrate in North-Eastern Bermuda. *Rev. Biol. Trop.* 36 (2B): 377-382.
- Méndez, N. and Baird, 2002. Effects of cadmium on sediment processing on members of the *Capitella* species-complex. *Environmental Pollution* 120, 299-305.

- Méndez, N. 2002. Annelid assemblages in soft bottoms subjected to human impact in the Urías estuary (Sinaloa, Mexico). *Oceanologica Acta*. 25: 139-147.
- Méndez, N. and Páez-Osuma, F. (1998). Trace metals in two populations of the fireworm *Eurythoe complanata* from Mazatlan bay: Effects of body size on concentrations. *Environ. Pollut.* 102 (2-3):279-285.
- Neff, J. 1987. Biological effects of oil in the marine environment. *Chem. Engin. Progress* 11. 25 pp.
- Oshida P.S. and L.S. Word. 1982. Bioaccumulation of chromium and its effects on reproduction in *Neanthes arenaceodentata* (Polychaeta). *Mar. Environ. Res.* 7:167-174.
- Otway, N.M., 1995. Assessing impacts of deepwater sewage disposal: A case study from New South Wales, Australia. *Mar.Pollut. Bull.*, 31, 347-354.
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review* 16, 229-331.
- Pesch, G.G. & C.E. Pesch , 1980. *Neanthes arenaceodentata* (Polychaeta: Annelida), a proposed cytogenetic model for marine genetic toxicology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:1225-1228
- Pocklington P & P.G. Wells, 1992. Polychaetes. Key taxa for marine environmental quality monitoring. *Mar. Poll. Bull.*, 24:593-598.
- Poidexter, L. & Miller, P. 1994. In: Gibson and Sayler. 1996. Predictability of biorremediation performance cannot be made with a High level of confidence. American Academic of Microbiology, Washington DC, USA.
- Raymont J.E.G. and J. Shields. 1963. Toxicity of copper and chromium in the marine environment. *Intern. Air Water Pollut.* 7:435-443
- Reish D.J. 1957. The relationship of the polychaetous annelid *Capitella capitata* (Fabricius) to waste discharge of biological origin. Pp 195-200 *En Biological Problems in Water Pollution*. U.S. Public Health Serv., Washington
- Reish, D. J. 1959. An ecological study of pollution in Los Angeles-Long Beach Harbours, California. Allan Hancock Foundation Occasional Paper 22, 1-117
- Reish, D.J. 1966. Relationship of polychaetous to varying dissolved oxygen concentrations. P. 199-216. Third international conf. water pollut. Res., Munich 3.367 p.

- Reish, D.J. 1970. The effects of varying concentrations of nutrients, chlorinity, and dissolved oxygen on polychaetous annelids. *Water Res.* 4:74-735
- Reish, D.J. 1972. The use of marine invertebrates as indicators of varying degrees of marine pollution. Pp 203-207 En *Marine Pollution and Sea Life*. M. Ruivo (ed.), FAO, Fishing News Books, Roma
- Reish, D. J. 1980. Use of Polichaetous Annelids as test organisms for marine bioassay experiments. *Aquatic invertebrate bioassay*. ASTM STP 715M A. L. Buikema, Jr., and John Cairns, Jr., Eds. American Society for Testing and Materials, 140-154.
- Reish, D.J. 1984. Marine ecotoxicological tests with polychaetous annelids. *Ecotoxicol. Test. Mar. Environ., U.S.A.*, 1: 427-454.
- Reish, D. J. 1986. Benthic invertebrates as indicators of marine pollution: 35 years of study. *IEEE Oceans '86 Conferences Proc.* Washington, DC, September 23-25, pp. 885-888.
- Reish, D. J. 1998. The use of larvae and small species of polychaetes in marine toxicological testing. In P. Well, Lee and Blaise (eds.) *Microscale Testing in Aquatic Toxicology: Advances, Techniques and Practice*. 1 st ed. CRC Press, pp. 383-392.
- Rivière, J. 1979. Métodos generales de depuración de aguas residuales. Pp 27-43. En la contaminación de las aguas Continentales: Incidencias sobre las Biocenosis. M. Pesson (ed.), Mundi-Prensa, Madrid.
- Rodríguez, J., M. Correa & M. Escalpez. 1993. Aplicación de técnicas de bioensayos a problemas de contaminación ambiental. AIDIS; Colegio de Ingenieros de Venezuela. Congreso Venezolano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 7. Caracas 20-25 de junio.
- Roed K.H. 1980. Effects of salinity and cadmium on reproduction and growth during three successive generations of *Ophryotrocha labronica* (Polychaeta). *Helgolander Meeresunters.* 33:47-58
- Salazar-Vallejo, S.I. 1981. La importancia de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) en el medio marino. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Universidad Autónoma de Nuevo León 11:3-4.
- Salazar-Vallejo, S.I. 1991. Contaminación marina: Métodos de evaluación biológica. CIQROO y Gob. Quintana Roo, Chetumal, 193 p.

- Satchell, J.E. 1974. Litter-interface of animate/inanimate matter. En *Biology of Plant Litter Decomposition*. Vol.1. Dickinson, C.H. y G.J.F. Pugh (Eds.). Academic Press. London.
- Simon, J.L. y D.M. Dauer, 1977. Reestablishment of a benthic community following natural defaunation. Pp 139-154 En *Ecology of Marine Benthos*. B.C. Coull (ed.), Univ. S. Carol.
- Tait, R. V. 1981. *Elements of Marine Ecology*. 3a ed. Butterworths, London, 356.
- Tsutsumi, H. 1987. Population dynamics of *Capitella Capitata* (Polychaeta: Capitellidae) in an organically polluted cove. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 36:139-183
- Uebelacker, J. M. & P G. Johnson (eds.). 1984a. *Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico*. Final Report to the Minerals Management Service, contrac 14-12-001-2909 1. Barry A. Vittor & Assoc., Inc., Mobile, Alabama. 7 Vols.
- US EPA & EEC (United States Environmental Protection Agency and European Economic Community), 1993, US EPA/EEC *Joint Project on the Evaluation of (Quantitative) Structure-activity Relationships* (Draft Final Report). US EPA, Washington, D.C., 55 pp. +app.
- Vargas-Boldrini C. 1994. Ictiofauna. Características genéricas e metodologías. Avaliação de impacto. Curso “caracterização de ecossistemas aquáticos e transição”. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de Sao Paulo. Sao Paulo, Brasil.
- Villamar, F. 1996. Bioensayo de toxicidad (CL50) del dispersante de petróleo BP 1100 WD, con fitoplancton marino (*Tetraselmis* sp). *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INDOCAR, Ecuador, 8(1): 67-73.
- Warwick, R. B. 1993. Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Aust. J. Ecol.*, 18:63-80.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E, 1991. *Limnological analysis*. Second Edition. Springer-Verlang. New-York.
- Wieser, W. 1969. The effect of grain size on the distribution of small invertebrates inhabiting the beaches of Puget Sound. *Limnol. Oceanogr.* 4: 181-194.
- Wilhelmi, J. 1916. Übersicht ber die biologische Beurteilung des Wassers. *Ges. Naturf. Freunde Berlin* 1916:297-306 (no vista)
- Páginas de Internet.
- Echarri, L. 1998. *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. Edit. Teide.  
<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

# ANEXOS

**Anexo 1.**

**- Resultados de biomasa y mortandad de *Laeonereis culveri* con muestra de la Dina.**

<b>REPLICA 1</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0488	0,0392	0,0455	<b>7</b>
<b>2</b>	0,0268	0,0433	0,0355	
<b>3</b>	0,0302	0,0378	0,0773	
<b>4</b>	0,0283	0,0350		
<b>5</b>	0,0402	0,0042		
<b>6</b>	0,0272	0,0502		
<b>7</b>	0,0424	0,0374		
<b>8</b>	0,0275			
<b>9</b>	0,0137			
<b>10</b>	0,0317			

<b>REPLICA 2</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0350	0,0678	0,0339	<b>6</b>
<b>2</b>	0,0116	0,0302	0,0314	
<b>3</b>	0,0145	0,0309	0,0306	
<b>4</b>	0,0268	0,0278	0,0218	
<b>5</b>	0,0157	0,0338		
<b>6</b>	0,0144	0,0296		
<b>7</b>	0,0136	0,0282		
<b>8</b>	0,0072			
<b>9</b>	0,0098			
<b>10</b>	0,0103			

<b>REPLICA</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0157	0,0271	0,0314	<b>5</b>
<b>2</b>	0,009	0,0440	0,0306	
<b>3</b>	0,0079	0,0448	0,0218	
<b>4</b>	0,0092	0,0307	0,0413	
<b>5</b>	0,0104	0,0702	0,0207	
<b>6</b>	0,0282	0,0613		
<b>7</b>	0,0181	0,0444		
<b>8</b>	0,0317	0,0502		
<b>9</b>	0,015	0,0374		
<b>10</b>	0,0396			

- Resultados de biomasa y mortandad de *Laonereis culveri* con muestra del Muelle fiscal.

<b>REPLICA 1</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0248	0,0537	0,0399	<b>6</b>
<b>2</b>	0,0188	0,048	0,0542	
<b>3</b>	0,0210	0,0532	0,0395	
<b>4</b>	0,0169	0,0345	0,0288	
<b>5</b>	0,0185	0,0338		
<b>6</b>	0,0204	0,049		
<b>7</b>	0,0140	0,0235		
<b>8</b>	0,0237	0,0309		
<b>9</b>	0,0178	0,0414		
<b>10</b>	0,0123	0,0145		

<b>REPLICA 2</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0237	0,0542	0,0188	<b>3</b>
<b>2</b>	0,0275	0,0497	0,043	
<b>3</b>	0,0126	0,0381	0,0203	
<b>4</b>	0,0260	0,0431	0,0371	
<b>5</b>	0,0132	0,0355	0,0228	
<b>6</b>	0,0139	0,0196	0,0257	
<b>7</b>	0,0149	0,0377	0,0324	
<b>8</b>	0,0179	0,0266		
<b>9</b>	0,0171	0,0228		
<b>10</b>	0,0098	0,019		

<b>REPLICA 3</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0115	0,0631	0,0439	<b>3</b>
<b>2</b>	0,0417	0,0842	0,0148	
<b>3</b>	0,0302	0,0475	0,0365	
<b>4</b>	0,0298	0,0403	0,0139	
<b>5</b>	0,0244	0,0323	0,0398	
<b>6</b>	0,0214	0,0103	0,053	
<b>7</b>	0,0147	0,0310	0,0198	
<b>8</b>	0,0102	0,0210		
<b>9</b>	0,0135	0,0170		
<b>10</b>	0,0113			

- Resultados de biomasa y mortandad de *Laonereis culveri* con muestra del Ojo de agua.

<b>REPLICA 1</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0488	0,0501	0,0239	<b>5</b>
<b>2</b>	0,0268	0,0333	0,0327	
<b>3</b>	0,0302	0,0338	0,0340	
<b>4</b>	0,0283	0,0317	0,0096	
<b>5</b>	0,0402	0,0347	0,0122	
<b>6</b>	0,0272	0,0478		
<b>7</b>	0,0424	0,0392		
<b>8</b>	0,0275	0,0304		
<b>9</b>	0,0137	0,0135		
<b>10</b>	0,0317			

<b>REPLICA 2</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0325	0,0147	0,0555	<b>3</b>
<b>2</b>	0,0021	0,0141	0,0357	
<b>3</b>	0,0172	0,0181	0,0219	
<b>4</b>	0,0173	0,0192	0,0197	
<b>5</b>	0,0210	0,024	0,0377	
<b>6</b>	0,0128	0,0238	0,0218	
<b>7</b>	0,0149	0,0143	0,0193	
<b>8</b>	0,0140	0,0154		
<b>9</b>	0,0124	0,0221		
<b>10</b>	0,0171			

<b>REPLICA 3</b>				
<b>Número de organismos</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa 10 Días</b>	<b>Biomasa 20 Días</b>	<b>Mortandad</b>
<b>1</b>	0,0126	0,0201	0,0278	<b>2</b>
<b>2</b>	0,0128	0,0157	0,0319	
<b>3</b>	0,0108	0,0247	0,0168	
<b>4</b>	0,0082	0,0137	0,0227	
<b>5</b>	0,0119	0,0173	0,0292	
<b>6</b>	0,0104	0,0081	0,0326	
<b>7</b>	0,0087	0,0173	0,0154	
<b>8</b>	0,0075	0,0076	0,0068	
<b>9</b>	0,0128	0,009		
<b>10</b>	0,0081	0,0179		

## Anexo 2

- Resultados de biomasa y mortandad de *Capitella cf. capitata* con muestra de la Dina.

REPLICA 1				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa 10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0029	0.0038	0.0034	5
2	0.0040	0.0045	0.0047	
3	0.0031	0.0044	0.0033	
4	0.0028	0.0046	0.0039	
5	0.0034	0.0033	0.0030	
6	0.0037	0.0019		
7	0.0050	0.0035		
8	0.0035	0.0028		
9	0.0035			
10	0.0025			

REPLICA 2				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa 10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0042	0.0033	0.0047	4
2	0.0032	0.0026	0.0025	
3	0.0024	0.0038	0.0036	
4	0.0028	0.0026	0.0029	
5	0.0023	0.0037	0.0038	
6	0.0037	0.0038	0.0035	
7	0.0031	0.0036		
8	0.0028	0.0035		
9	0.0020			
10	0.0050			

REPLICA 3				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa 10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0030	0.0030	0.0026	1
2	0.0039	0.0024	0.0018	
3	0.0023	0.0023	0.0009	
4	0.0035	0.0027	0.0020	
5	0.0043	0.0035	0.0032	
6	0.0028	0.0025	0.0017	
7	0.0051	0.0018	0.0023	
8	0.0039	0.0024	0.0031	
9	0.0039	0.0016	0.0031	
10	0.0022	0.0023		

- Resultados de biomasa y mortandad de *Capitella cf. capitata* con muestra del Muelle fiscal.

REPLICA 1				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0031	0.0059	0.0039	3
2	0.0030	0.0058	0.0028	
3	0.0034	0.0032	0.0036	
4	0.0031	0.0038	0.0026	
5	0.0049	0.0045	0.0025	
6	0.0029	0.0039	0.0021	
7	0.0024	0.0031	0.0040	
8	0.0034	0.0046		
9	0.0035	0.0023		
10	0.0027	0.0023		

REPLICA 2				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0047	0.0053	0.0025	3
2	0.0026	0.0038	0.0019	
3	0.0051	0.0058	0.0038	
4	0.0042	0.0064	0.0020	
5	0.0038	0.0040	0.0023	
6	0.0027	0.0038	0.0012	
7	0.0031	0.0040	0.0029	
8	0.0029	0.0044		
9	0.0027	0.0038		
10	0.0037	0.0035		

Replica 3				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0026	0.0025	0.0027	2
2	0.0035	0.0013	0.0035	
3	0.0023	0.0041	0.0031	
4	0.0024	0.0061	0.0037	
5	0.0027	0.0035	0.0027	
6	0.0030	0.0061	0.0027	
7	0.0054	0.0037	0.0012	
8	0.0024	0.0038	0.0026	
9	0.0058	0.0049		
10	0.0024			

- Resultados de biomasa y mortandad de *Capitella cf. capitata* con muestra del Ojo de agua.

REPLICA 1				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0036	0.0035	0.0042	3
2	0.0018	0.0034	0.0044	
3	0.0025	0.0031	0.0041	
4	0.0017	0.0026	0.0033	
5	0.0031	0.0027	0.0026	
6	0.0020	0.0044	0.0025	
7	0.0032	0.0028	0.0019	
8	0.0035	0.0017		
9	0.0027	0.0020		
10	0.0020			

REPLICA 2				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0012	0.0050	0.0031	1
2	0.0026	0.0036	0.0024	
3	0.0034	0.0023	0.0032	
4	0.0027	0.0026	0.0022	
5	0.0047	0.0026	0.0036	
6	0.0034	0.0027	0.0026	
7	0.0035	0.0027	0.0031	
8	0.0026	0.0017	0.0024	
9	0.0039	0.0023	0.0026	
10	0.0037			

Replica 3				
Número de organismos	Biomasa inicial	Biomasa10 Días	Biomasa 20 Días	Mortandad
1	0.0026	0.0024	0.0042	1
2	0.0042	0.0044	0.0035	
3	0.0041	0.0026	0.0043	
4	0.0033	0.0023	0.0044	
5	0.0038	0.0032	0.0042	
6	0.0031	0.0034	0.0040	
7	0.0023	0.0043	0.0038	
8	0.0024	0.0042	0.0030	
9	0.0020	0.0028	0.00045	
10	0.0043	0.0040		

### Anexo 3

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra de la Dina en *Laonereis culveri*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.16	25.5	2.73	9
<b>10 Días</b>	8.1	27.7	4.31	9
<b>20 Días</b>	8.3	30	3.08	9.1

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra del Muelle fiscal en *Laonereis culveri*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.2	27.7	2.1	9
<b>10 Días</b>	8	29.1	2	9.1
<b>20 Días</b>	8.1	29.8	2.1	9.1

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra del Ojo de agua en *Laonereis culveri*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.5	28	2.3	9
<b>10 Días</b>	8.1	29	2.1	9.1
<b>20 Días</b>	8.1	29	2	9.15

#### Anexo 4

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra de la Dina en *Capitella* cf. *capitata*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.18	25.6		9
<b>10 Días</b>	8.15	28		9.1
<b>20 Días</b>	8.1	26.5		9

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra del Muelle fiscal en *Capitella* cf. *capitata*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.7	26.5		9
<b>10 Días</b>	8.1	28.9		9.2
<b>20 Días</b>	8.1	29.7		9

- Promedios de los parámetros fisicoquímicos con muestra del Ojo de agua en *Capitella* cf. *capitata*.

	PARÁMETROS			
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Salinidad (ppm)
<b>Inicial</b>	8.2	29		9
<b>10 Días</b>	8.1	29.9		9.1
<b>20 Días</b>	8.1	29.8		9