



# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y  
TECNOLÓGICAS**

---

**POSGRADO EN BIOCENCIAS**

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE  
MOLUSCOS BIVALVOS CON POTENCIAL PARA  
BIORREMEDIACIÓN EN ÁREAS IMPACTADAS Y NO  
IMPACTADAS POR DESCARGAS ACUÍCOLAS**

**TESIS**

**Para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN BIOCENCIAS**

**Presenta:**

**KARIME JAZMÍN RAMOS CORELLA**

**Hermosillo, Sonora, México**

**2 de Septiembre de 2013**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS CON  
POTENCIAL PARA BIORREMEDIACIÓN EN ÁREAS IMPACTADAS Y NO  
IMPACTADAS POR DESCARGAS ACUÍCOLAS**

**T E S I S**

**que para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN BIOCENCIAS**

**presenta:**

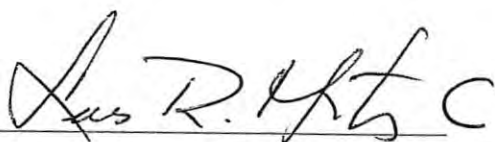
**KARIME JAZMÍN RAMOS CORELLA**

**Hermosillo, Sonora, México**

**2 de Septiembre de 2013**

## APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada Identificación y caracterización de moluscos bivalvos con potencial para biorremediación en áreas impactadas y no impactadas por descarga acuícolas presentada por la QB. Karime Jazmín Ramos Corella, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias.



Dr. Luis Rafael Martínez Córdova

Asesor



Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña

Sinodal



Dr. José Antonio López Elías

Sinodal



Dr. Anselmo Miranda Baeza

Sinodal

## DEDICATORIA

*A Dios por permitirme llegar hasta este momento de mi vida.*

*Con mucho cariño a mis padres, porque me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por creer en mí.*

*A mis hermanos Marco Antonio y Marlene.*

*A Ramón por ser alguien muy especial en mi vida, ya que además de ayudarme en el trabajo de laboratorio me motivo a seguir adelante.*

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, a la **Universidad de Sonora** y al **Posgrado en Biociencias**; por el apoyo otorgado para la realización del presente trabajo de investigación.

A mi director de tesis, **Dr. Luis Rafael Martínez C.** por los conocimientos que me brindó para llevar a cabo esta investigación, y sobre todo por su paciencia para esperar a que este trabajo pudiera llegar a su fin.

Agradezco a los miembros de mi comité. **Dr. José Antonio López Elías**, y **Dr. Anselmo Miranda Baeza**, por sus a comentarios, consejos y por las valiosas contribuciones que hicieron a éste trabajo, pero sobre todo al **Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña** que a pesar de tantas actividades que lo ocupan siempre tuvo un espacio para mí, gracias por su dedicación, consejos, enseñanzas y por compartir su tiempo para la realización de mi tesis.

A mis maestros **Álvaro** y **Lauro**, que me brindaron su apoyo y todo lo necesario para poder trabajar, pero más que nada por brindarme su amistad, por darme consejos y por hacer más gratos los momentos en el laboratorio.

A **Diana, Fabián, Ana Lucía, Joven R, Caro, León, Rodrigo, Emmanuel**, fueron muy buenos amigos y compañeros de laboratorio, gracias por sus consejos y ayuda.

A **Ramón**, por toda su ayuda, por su tiempo y buenos consejos. Gracias.

## RESUMEN

Se llevó a cabo una investigación experimental en las instalaciones del DICTUS, para evaluar el potencial biorremediador (eficiencia de filtración medida como tasa de clarificación), así como las tasas de consumo de oxígeno y excreción amoniacal en los bivalvos *Chione gnidia*, *Dosinia Ponderosa* y *Megapitaria squalida* colectados de áreas impactadas y no impactadas por efluentes de granjas camaronícolas. Las almejas de la especie *D. ponderosa* mostraron tasas más altas en comparación con *C. gnidia* independientemente de la zona. Cuando se compara la misma especie pero de diferentes áreas, para *C. gnidia* no se observaron diferencias en la tasa de clarificación, sin embargo para *D. ponderosa* los organismos de las zonas impactadas tuvieron tasas de clarificación más altas que los de las zonas no impactadas. *M. squalida* presentó la tasa de clarificación más alta que las otras dos especies. Para la tasa de consumo de oxígeno, no se encontraron diferencias entre las áreas de la misma especie, lo que significa que el impacto ambiental no indujo a los bivalvos que evaluamos para modificar su consumo de oxígeno, para *M. squalida* fue el más bajo obteniéndose un valor de  $0.48 \text{ mg L}^{-1}$ . Las condiciones de impacto afectaron solo la excreción amoniacal en *C. gnidia*. Los resultados sugieren que ambas especies desarrollan diferentes estrategias para adaptarse y sobrevivir bajo las condiciones de impacto; *D. ponderosa* mejora su eficiencia de filtración y *C. gnidia* modifica su consumo de oxígeno y excreción amoniacal. La almeja *M. squalida*, presentó tasas de clarificación mejores que las otras dos especies, sin embargo es necesario evaluar el organismo bajo condiciones adversas para confirmar su potencial como biorremediador.

## ABSTRACT

An experimental investigation was done in the facilities of DICTUS, University of Sonora, to evaluate the potential bioremediator (filtration capacity measured as clearance rate), as well as the oxygen consumption and ammonia excretion rates of the bivalves *Chione gnidia*, *Dosinia ponderosa* and *Megapitaria squalida* collected from areas impacted and non-impacted by shrimp aquaculture effluents. Bivalves of the species *Dosinia ponderosa* had higher clearance rates compared to *Chione gnidia* independently of the area. When compared the same species but in different areas, no differences were observed in clearance rate for *C. gnidia*, however for *D. ponderosa* from impacted areas, clearance rates were higher than those in areas not impacted. For oxygen consumption rate, no differences were found between areas of the same species, which means that the environmental impact not induced bivalves to modify their oxygen consumption; *Megapitaria squalida* obtained the lowest value of  $0.48 \text{ mg L}^{-1}$ . Impact conditions affect ammonia excretion only in *C. gnidia*. The results suggest that both species develop different strategies to thrive and survive under the impacted conditions; *D. ponderosa* improves its filtration efficiency, while *C. gnidia* modifies its oxygen consumption and ammonia excretion. The bivalve *M. squalida* presented clarification rates better than the other two species; however it is necessary to evaluate the organism under adverse conditions to confirm their potential as bioremediator.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
FORMA DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>I.1. Moluscos bivalvos</b>	<b>3</b>
<b>I.1.1. Alimentación de los moluscos bivalvos</b>	<b>5</b>
<b>I.2. Uso de moluscos bivalvos como organismos biorremediadores</b>	<b>8</b>
<b>I.2.1. Tasa de filtración en moluscos bivalvos</b>	<b>10</b>
<b>I.2.2. Tasa de clarificación en moluscos bivalvos</b>	<b>10</b>
<b>I.2.3. Factores endógenos y exógenos que afectan la filtro- alimentación de bivalvos</b>	<b>11</b>
<b>I.2.3.1. Factores endógenos</b>	<b>11</b>
<b>I.2.3.2. Factores exógenos</b>	<b>12</b>
<b>I.2.3.2.1. Concentración de partículas</b>	<b>12</b>
<b>I.2.3.2.2. Temperatura</b>	<b>13</b>
<b>I.2.3.2.3. Salinidad</b>	<b>13</b>
<b>I.3 Moluscos utilizados para evaluar la biorremediación de efluentes</b>	<b>13</b>
<b>I.3.1. <i>Chione gnidia</i></b>	<b>14</b>
<b>I.3.2. <i>Dosinia ponderosa</i></b>	<b>15</b>
<b>I.3.3. <i>Megapitaria squalida</i></b>	<b>16</b>

<b>II. JUSTIFICACIÓN</b>	18
<b>III. OBJETIVOS</b>	19
<b>III.1. Objetivo General</b>	19
<b>III.1.1. Objetivos Particulares</b>	19
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	20
<b>IV.1. Obtención y mantenimiento de los organismos</b>	20
<b>IV.2. Cultivo de la microalga</b>	21
<b>IV.3. Medición de la tasa de filtración</b>	21
<b>IV.4. Medición de la tasa de clarificación</b>	23
<b>IV.5. Normalización</b>	24
<b>IV.6. Tasa de consumo de oxígeno</b>	24
<b>IV.7. Tasa de excreción amoniacal</b>	25
<b>IV.8. Análisis de estadístico</b>	25
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	26
<b>V.1. Distribución, abundancia, densidad y tipo de sedimento de las especies recolectadas</b>	26
<b>V.2. Materia total particulada y materia orgánica total</b>	28
<b>V.3. Peso total y peso del tejido blando seco</b>	28
<b>V.4. Tasa de clarificación</b>	29
<b>V.5. Tasa de consumo de oxígeno (TCO) y tasa de excreción amoniacal (TEA)</b>	32
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	35
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	36
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Caracteres principales de la concha de un bivalvo (FAO, 1998).	4
2	Caracteres generales de un bivalvo (FAO, 1998).	7
3	Distribución de las almejas <i>Chione gnidia</i> , <i>Dosinia ponderosa</i> y <i>Megapitaria squalida</i> (FAO, 1998).	15

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Distribución, abundancia, densidad y tipo de sedimento en el que se recolectaron las 3 especies de moluscos bivalvos en los dos sitios de estudio.	27
2	Promedio $\pm$ desviación estándar de la materia total particulada (MTP) y materia orgánica en suspensión (MOP) ( <i>Chaetoceros muelleri</i> ) ofrecida a los bivalvos para evaluar la tasa de clarificación.	27
3	Promedio $\pm$ desviación estándar del peso total y tejido blando seco de los bivalvos provenientes de la zona costera de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México.	30
4	Tasa de clarificación ( $L^{-1} h^{-1} g^{-1}$ ) de <i>Chione gnidia</i> , <i>Dosinia ponderosa</i> y <i>Megapitaria squalida</i> provenientes de la zona costera de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México.	30
5	Promedio $\pm$ desviación estándar de la tasa de consumo de oxígeno (TCO) y la tasa de excreción amoniacal (TEA) ( $mg L^{-1}$ ) por individuo de <i>Chione gnidia</i> , <i>Dosinia ponderosa</i> , y <i>Megapitaria squalida</i> provenientes de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México.	34

## I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La producción acuícola mundial ha seguido creciendo en el nuevo milenio. En el transcurso de medio siglo aproximadamente, la acuicultura ha pasado de ser casi insignificante a equipararse totalmente a la producción de la pesca de captura y tiene un aporte muy significativo en la alimentación de la población humana. La producción acuícola mundial alcanzó otro nivel máximo sin precedentes en 2010 con 60 millones de toneladas (FAO, 2012). De este gran total, la producción mundial de bivalvos que se alimentan por filtración ha aumentado dramáticamente. De acuerdo con la FAO, la pesca y la acuicultura de este grupo de organismos se cuadruplicó en los últimos 30 años, alcanzando volúmenes de casi 12 millones de toneladas métricas en el año 2000 (Shpigel, 2005). Para el año 2010 un tercio de la producción acuícola mundial de especies comestibles se logró sin utilizar piensos y correspondió a la producción de bivalvos y carpas que se alimentan por filtración (FAO, 2012). A medida que la población mundial siga creciendo, la demanda y la producción de bivalvos seguirán creciendo también.

La acuicultura es una práctica que ha crecido aceleradamente por el incremento de la demanda de alimentos a nivel mundial y a pesar de los indudables beneficios que ha traído, tales como la obtención de alimentos de alta calidad, generación de empleos y divisas en países desarrollados o en vías de desarrollo (FAO, 2009), también es evidente que ha ocasionado una serie de problemas como sucede en la mayoría de las actividades productivas. Uno de los impactos ambientales generados por la acuicultura, es la descarga directa sin tratamiento de sus efluentes cargados de materia orgánica y nutrientes a los cuerpos de agua adyacentes, provocando problemas de eutrofización e hipernutricación en el agua costera y continental, siendo una de las mayores preocupaciones actuales de la actividad acuícola. (Braaten, 1991; Boyd *et al.*, 2006). Aparte de estos problemas de impacto ambiental a los ecosistemas receptores de los efluentes, está la aparición constante de epizootias (Martínez-Córdova *et al.*,

2009). Para reducir el exceso de nutrientes del agua de los efluentes se usan métodos físico-químicos (que la mayoría de las veces no resuelven el problema) y métodos biológicos que utilizan animales, plantas y microorganismos para eliminar productos de las descargas. En condiciones idóneas los productos finales, aportan recursos que pueden usarse para alimentar otros organismos (incluyendo el hombre) y obtener un beneficio adicional (Chopin *et al.*, 2001).

Algunas de las estrategias probadas o sugeridas para enfrentar el problema de la descarga directa de efluentes en los ecosistemas naturales, incluyen: lagunas de sedimentación (Martínez-Córdova & Enríquez-Ocaña, 2007), tratamientos en estanques sépticos (Summerfelt & Penne, 2007), disminución del recambio de agua (Balasubramanian *et al.*, 2005), sistemas de recirculación (Timmons *et al.*, 2002), aprovechamiento de manglares como trampa de nutrientes (Rivera-Monroy, 1999), prácticas de policultivo (Martínez-Córdova & Martínez-Porchas, 2006; Martínez-Porchas *et al.*, 2009) y biorremediación de efluentes (Paniagua-Michel & García, 2003; Nieves-Soto *et al.*, 2013); siendo esta última una de las estrategias biológicas más importantes debido a la capacidad de ciertos organismos para realizar procesos degradativos en el medio acuático siendo a su vez amigables con el ambiente (Peña Messina, 2009).

De acuerdo a Paniagua Michel y García (2003), la biorremediación se puede definir como:

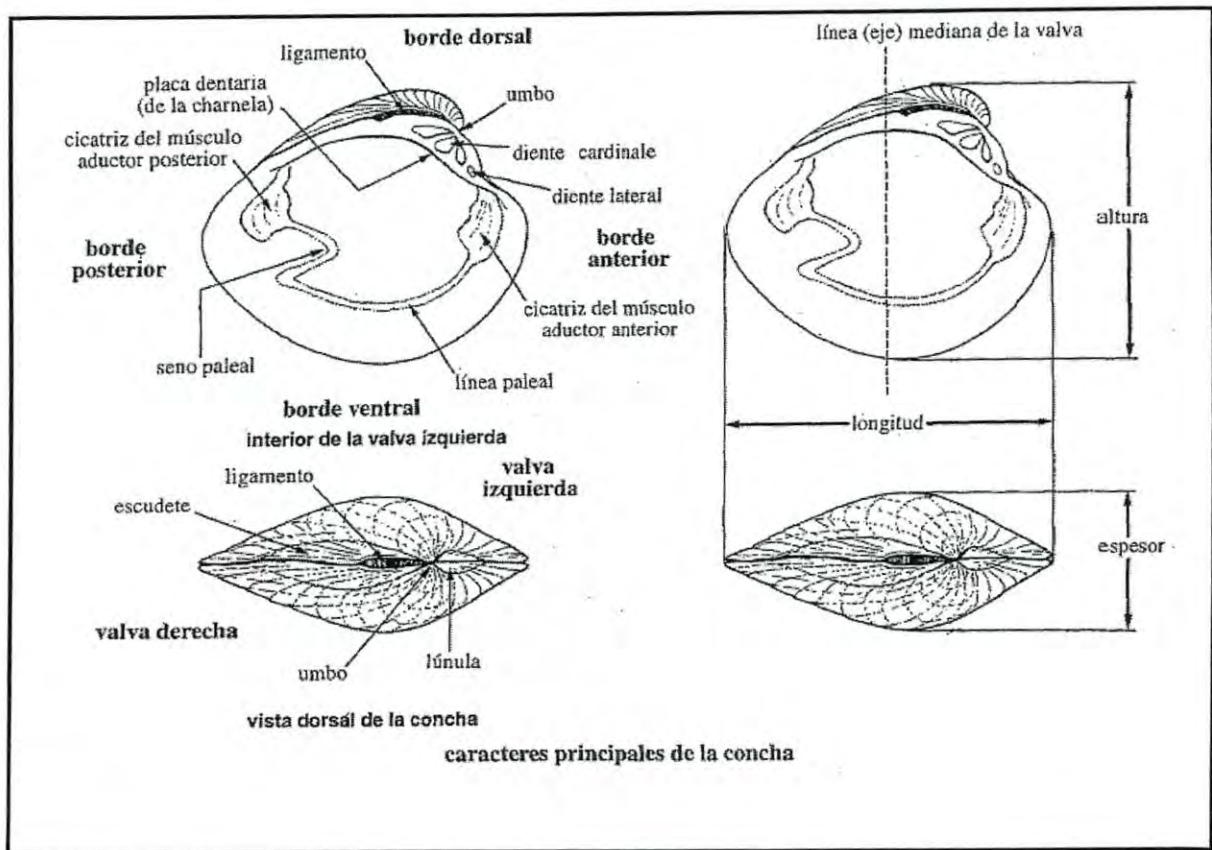
el uso de diversos organismos, animales, vegetales o microorganismos, empleados en forma individual o combinada para minimizar la carga contaminante de los efluentes provenientes de la acuicultura u otras actividades. Es un proceso que hace uso de las capacidades naturales o modificadas de los organismos para eliminar o reducir desechos potencialmente peligrosos, transformándolos en productos más inocuos. Este proceso se puede llevar a cabo de diversas maneras: *in situ*, *ex situ*, por fitorremediación, por biofiltración, por hidroponía, uso de biopelículas y/o bioflóculos (De Schryver *et al.*, 2008, Kuhn *et al.*, 2009), etc., y combinaciones de 2 o más de estas estrategias. Para los propósitos de biorremediación, se han utilizado en forma experimental o a nivel comercial diferentes tipos de organismos tales como, moluscos, macroalgas, microalgas, bacterias y otros.

## I.1. Moluscos bivalvos

El filo Mollusca es uno de los mayores, más diversos e importantes en el reino animal. Hay más de 50 000 especies descritas y alrededor de 30 000 de estos se encuentran en el mar. Los moluscos son animales de cuerpo blando, pero la mayoría están protegidos por una concha dura; dentro de la concha hay un pliegue de tejido llamado manto, el cual encierra los órganos internos del animal. Otra característica de este filo es que poseen un gran pie muscular que se utiliza generalmente para la locomoción (Gosling, 2003).

Existen seis clases de moluscos, siendo la Clase Gasterópoda el grupo más grande y diverso con 40 000 especies. La clase Gasterópoda incluye caracoles con espiral, lapas en espiral plana sin concha, babosas de mar sin concha y caracoles y babosas terrestres. La clase Bivalvos, también conocida como Lamelibranquios, posee cerca de 7500 especies e incluye animales con dos valvas de concha como los mejillones, las ostras, las vieiras y las almejas. Los organismos como el pulpo, el calamar y la sepia se encuentran en la clase Cefalópodos y posee alrededor de 650 especies representando la clase más organizada y especializada de todos los moluscos. Las clases Poliplacóforos y Escafópodos en conjunto contienen alrededor de 1000 especies y por último, la clase primitiva Monoplacóforos, que contiene el único género *Neopilina* (Gosling, 2003).

Los bivalvos son, en algunos aspectos, los más modificados de todos los moluscos. Son organismos acuáticos de simetría bilateral. Su concha está conformada por dos valvas calcificadas recubriendo los lados derecho e izquierdo del cuerpo. Típicamente, ambas valvas son igualmente convexas (concha equivalva), pero pueden diferir en tamaño y forma (concha inequivalva) como resultado de la alteración de la simetría bilateral. Las valvas están articuladas entre sí a lo largo de una prominencia marginal del borde dorsal, denominada charnela, y están conectadas por una estructura elástica, poco calcificada, llamada ligamento (Figura 1.); por acción de esta estructura, las dos valvas tienden a abrirse a lo largo de sus bordes anterior, posterior, y principalmente ventral. En cambio, se cierran por la contracción de uno o dos (a veces tres) músculos aductores. Estos se insertan en áreas bien definidas de la



**Figura 1.** Caracteres principales de la concha de un bivalvo (FAO, 1995).



superficie interna de las valvas, dejando marcas bien visibles denominadas cicatrices de los músculos abductores. (FAO, 1995).

El cuerpo blando, no segmentado, de los bivalvos es lateralmente comprimido, pero carece de cabeza y de órganos de masticación. Está cubierto por el manto, una lámina de tejido formada por dos lóbulos que secretan y revisten internamente las respectivas valvas. Estos lóbulos paleales están fusionados dorsalmente con la masa visceral y circundan ventralmente una cavidad visceral comunicada con el medio ambiente. Los lóbulos paleales están firmemente adheridos a la superficie interna de las valvas a lo largo de una línea paleal bien definida, situada cerca del margen ventral de la concha. Los bordes de los lóbulos paleales pueden estar parcialmente fusionados entre sí, formando posteriormente dos sifones a través de los cuales el agua es aspirada hacia el interior (sifón inhalante) o expulsada (sifón exhalante). El pie, un cuerpo musculoso puede tener forma de hacha y permite al animal desplazarse, excavar, o adherirse a sustratos duros por medio de filamentos elásticos (Figura 2). Muchos bivalvos poseen un par de branquias de estructura laminar, cuya actividad genera un complejo sistema de corrientes de agua que permite la recolección de alimento (FAO, 1995).

### **I.1.1. Alimentación de los moluscos bivalvos**

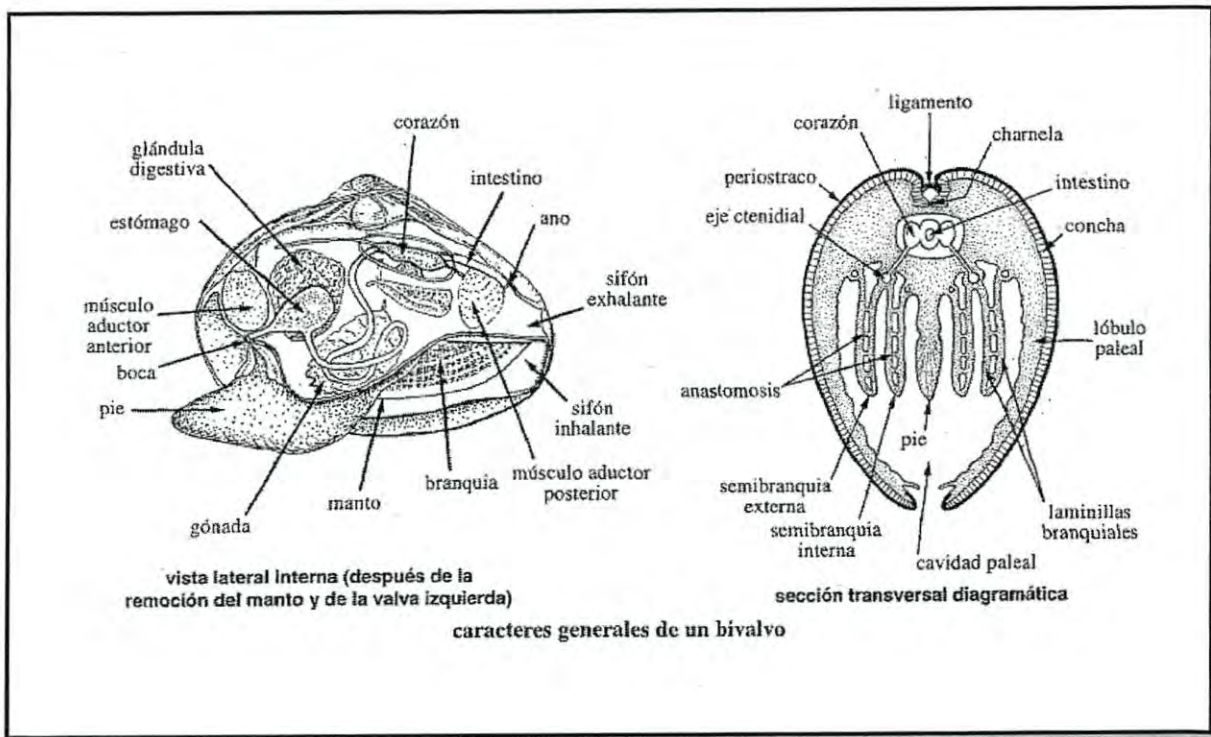
La mayoría de los bivalvos son micrófagos y se alimentan de plancton o de materia orgánica suspendida en el agua, más concretamente fitoplancton, detritos, materia orgánica particulada (consumidores de materia en suspensión) o bien, de organismos o materia orgánica del fondo (consumidores de sedimento). Sin embargo, unas pocas especies han desarrollado modalidades de alimentación muy especializadas (FAO, 1995).

Los moluscos cultivados comercialmente son consumidores primarios y basan su dieta en el consumo de microalgas. Entre las especies de microalgas más comúnmente utilizadas como alimento vivo en acuicultura se encuentran varias diatomeas planctónicas, como *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *T. weissflogii* y desde luego varias más del género *Chaetoceros*, destacando la especie *Chaetoceros muelleri* (Nieves *et al.*, 2009). Mientras que

en la etapa juvenil y adulta la dieta de otros moluscos puede variar según el grupo, los bivalvos continúan como fito-alimentadores consumiendo microalgas y detritus toda su vida (Farías, 2003).

Los organismos filtradores se alimentan de materia particulada que se encuentra en suspensión, denominada comúnmente seston. Las características del seston vienen determinadas por procesos biológicos y físico- químico, así como por la interacción entre ellos (Filgueira, 2007). Si bien el fitoplancton es fundamental en su dieta, también la componen bacterias, micro-zooplancton, detritus, así como material orgánico disuelto (Gosling, 2003).

En el caso de los bivalvos, las branquias se relacionan directamente con la captación, retención y selección de alimento. La alimentación se logra por medio de las branquias por la filtración del agua que se encuentra a su alrededor de donde el individuo obtiene alimento y oxígeno. Las branquias funcionan como un colador en el que quedan retenidas las partículas de más de 2 micras que lleva el agua. Una vez capturadas los cilios branquiales trasladan estas partículas a unos canales situados en los pliegues ventrales y en las márgenes dorsales de las branquias, que finalmente las conducen a los palpos labiales; Estos órganos son los encargados de introducir el alimento a la boca ayudados por su epitelio ciliado. También pueden regular la cantidad de alimento que se ingiere, rechazando parte de él hacia el manto cuando su cantidad es excesiva o no es del tamaño requerido, o formando pseudo-heces que son expulsadas de la cavidad del manto. El alimento pasa de la boca al esófago y de este al estómago, en donde las partículas más grandes pueden ser trituradas. Los residuos se devuelven en forma de heces hacia el exterior (Farías, 2003).



**Figura 2.** Caracteres generales de un bivalvo (FAO, 1995).

## **I.2. Uso de moluscos bivalvos como organismos biorremediadores**

Para hacer sustentable la expansión de la acuicultura, se requiere una solución económica al problema de los residuos. Debido a que la concentración de nutrientes es relativamente baja en los efluentes acuícolas, los tratamientos basados en la biofiltración han sido preferentemente utilizados en la acuicultura, en lugar de tratamiento estándar para aguas residuales industriales (van Rijn 1996).

Una de las opciones más comúnmente utilizadas para mejorar la calidad del agua de los efluentes de las granjas acuícolas, es el uso de los moluscos bivalvos, que en su calidad de organismos filtro-alimentadores, pueden contribuir al proceso de biorremediación (Jones *et al.*, 2001). Los moluscos son uno de los organismos más importantes, abundantes y diversos que habitan en los ecosistemas acuáticos, pero también se les encuentra en ambientes terrestres. Los bivalvos son exclusivamente acuáticos y la mayoría de ellos se alimentan por filtración reteniendo la porción orgánica nutritiva y rechazando la fracción inorgánica por medio de bio-depósitos. Esta capacidad hace que algunos bivalvos sean buenos candidatos para ser utilizados para la biorremediación de efluentes de diversas actividades, principalmente la acuicultura (Chávez-Crocker y Oberque-Contreras, 2010). La capacidad de filtración y de retención del exceso de los nutrientes descargados de los estanques, convierte a los bivalvos en organismos ideales para mitigar la eutrofización y algunos problemas ambientales, tales como el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, la generación de mareas rojas; permitiendo mejorar a la vez la calidad del agua de los efluentes, ya que el fitoplancton y el detritus que éstos transportan son fuentes potenciales de alimento para estos organismos, además presentan un ingreso económico potencial adicional (Chopin *et al.*, 2001; Neori *et al.*, 2007, Miranda, 2005).

Los organismos filtro-alimentadores desempeñan un papel importante en la estabilidad de los sistemas acuáticos, consumen el fitoplancton y otra materia particulada y la transfieren al bentos como biodepósitos (heces y pseudo-heces) donde pueden ser fuente de alimento para otros organismos. Adicionalmente, al remover la materia particulada del agua favorecen una

mejor penetración de la luz, lo que beneficia a los productores primarios para realizar la fotosíntesis.

Dado que los bivalvos filtran microalgas y otras partículas, pueden disminuir la turbidez de los efluentes de la acuicultura mediante la digestión de partículas orgánicas y la conversión de partículas no digeribles en heces y pseudoheces. En altas densidades, los bivalvos han demostrado ser el factor principal que controla la concentración de seston en aguas naturales (Shpigel y Neori, 2007). La concentración de clorofila y turbidez son indicadores fundamentales de la calidad del agua. La filtración ejercida por bivalvos que se alimentan por suspensión puede eliminar las partículas inorgánicas de la columna de agua y el fitoplancton y también contrarrestar un síntoma negativo de la eutrofización (Haamer, 1996).

A lo largo del litoral mexicano se explotan más de 80 especies de bivalvos y gasterópodos, producto de la situación geográfica que determina una gran diversidad climática y ambiental. Además, existe gran variedad de hábitats, dado por la heterogeneidad de tipos de costa, diferentes características climáticas y regímenes hidrológicos, lo que ha permitido que las diversas especies manifiesten al máximo su potencial adaptativo bajo condiciones muy variadas (Baqueiro y Aldana, 2003).

El Golfo de California, en el noroeste de México tiene una gran diversidad de moluscos bivalvos (Keen, 1971), algunos de ellos han sido evaluados como prospectos para la biorremediación de efluentes acuícolas. Hasta el momento varios estudios indican que es posible usar a los moluscos bivalvos para la remoción de materia particulada en efluentes de granjas acuícolas. En efecto, existen diversos reportes sobre el crecimiento de moluscos bivalvos alimentados con descargas de granjas, tanto de peces (Shpigel y Blaylock, 1991; Jones e Iwama, 1991; Stirling y Okimus, 1995; Shpigel *et al.*, 1997; Lefebvre *et al.*, 2000) como de camarón (Jakob *et al.*, 1993; Jones y Preston, 1999, Miranda, 2009; Martínez-Córdova y Martínez Porchas, 2006, Peña-Messina *et al.*, 2009), los cuales sugieren el potencial que estos organismos tienen para la biorremediación.

Peña-Messina *et al.* (2009) evaluaron las variables fisiológicas de filtración de *Crassostrea cortesiensis* y *Anadara tuberculosa* criadas en efluentes de acuicultura de camarón, y encontraron que ambas especies son buenos candidatos para ser considerados para su uso

como biofiltros en la biorremediación acuícola. Martínez-Córdova *et al.*, (2011) utilizaron con éxito *Chione fluctifraga* para la biorremediación de efluentes de cultivo de camarón. Nieves-Soto *et al.*, (2011 y 2013) encontraron que *Anadara tuberculosa* puede crecer en ambientes difíciles, como los efluentes de los estanques de camarones y tomar ventaja de la tolerancia del organismo a condiciones extremas. Enríquez-Ocaña *et al.*, (2012) evaluaron el efecto combinado de la temperatura y la salinidad sobre la capacidad de biofiltración de *Crassostrea corteziensis* y encontraron que este bivalvo tienen una mayor capacidad de filtración a 32 ° C y 35 PSU. Nieves-Soto *et al.*, (2013) documentaron las tasas de filtración, de clarificación y de la eficiencia de asimilación de *Atrina tuberculosa* bajo diferentes combinaciones de temperatura y concentración de alimento.

### **I.2.1. Tasa de filtración en moluscos bivalvos**

La tasa de filtración es comúnmente definida como el volumen de agua filtrada completamente libre de partículas por unidad de tiempo (L/h), la TF también es definida como el volumen de agua limpia de partículas por hora por almeja (James *et al.* 2001) y como el volumen de agua completamente limpia de un tipo específico de partículas por unidad de tiempo por tejido seco de almeja (Dupuy *et al.*, 2000). Bacon y MacDonald 1998 propusieron la TF como el volumen de agua libre de partículas menores de 2µm por unidad de tiempo. Otros investigadores la señalan como el volumen de agua limpia del 100% de partículas eficientemente retenidas por unidad de tiempo (Petersen *et al.*, 2004).

### **I.2.2. Tasa de clarificación en moluscos bivalvos**

La tasa de clarificación (mg/t) es más comúnmente definida en términos de material particulado retenido o removido de la columna de agua que en términos de volumen de agua

filtrada. Según Velasco y Navarro (2005), la TC es igual al total de materia particulada (o células) removidas del agua por unidad de tiempo.

### **I.2.3. Factores endógenos y exógenos que afectan la filtro-alimentación de bivalvos**

Las tasas de filtración y de clarificación de los bivalvos no son constantes dentro de una especie o una población, e incluso para un mismo individuo, son variablemente dependientes del equilibrio entre los factores endógenos (tamaño, estado reproductivo) y los factores exógenos (temperatura, salinidad, densidad del alimento, calidad del alimento, entre otros). Los factores endógenos y exógenos pueden no ser independientes el uno del otro, con los primeros a menudo variando en función de los últimos (Barnes, 2006).

Comprender cómo ambos factores endógenos y exógenos pueden afectar la filtración de los bivalvos es fundamental para interpretar los resultados de los experimentos sobre la tasa de filtración y por lo tanto, la comprensión del papel de los bivalvos filtradores en los ecosistemas costeros (Barnes, 2006).

#### **I.2.3.1. Factores endógenos**

Los factores endógenos que pueden afectar la filtración de los bivalvos incluyen el tamaño del bivalvo: ctenidios más grandes que corresponden a individuos más grandes facilitan una mayor cantidad de flujo de agua y por lo tanto una mayor área de captura de partículas suspendidas. El grosor del área de enmalle ha sido correlacionado positivamente con la TF y TC por Mayhöfer (1985). Se ha observado sin embargo, que puede haber una reducción en la tasa de filtración para animales más grandes y esto puede ser en parte explicado por la reducción de la actividad de los cilios de enmalle de especímenes viejos

(Winter, 1973). Una relación positiva entre la TC o TF y el peso de la concha (o su longitud) han sido demostradas para muchas especies de bivalvos (Bayne, 1976)

### **I.2.3.2. Factores exógenos**

Los factores externos más importantes que afectan el comportamiento de la alimentación de bivalvos (incluyendo tasa de clarificación y filtración) son la calidad y cantidad de alimento (Hawkins *et al.*, 1996). El tamaño de partícula también puede afectar la eficiencia en la captura y selección del alimento. La variabilidad temporal de las características de los alimentos puede ser influenciada por factores ambientales como la escorrentía, las corrientes de marea, la producción primaria y secundaria, etc.

#### **I.2.3.2.1. Concentración de partículas**

Las tasas de bombeo dependen en gran medida de la concentración del material particulado en el medio. En experimentos de laboratorio Wilson & Seed (1974) demostraron que la tasa de bombeo de mejillón se redujo rápidamente o se detuvo por completo cuando se utilizó agua de mar libre de partículas y llegaron a la conclusión de que el material particulado presente en agua de mar natural, en forma de plancton y detritos finos, estimula y mantiene el bombeo. Para iniciar la filtración la concentración de partículas debe alcanzar un umbral crítico, sin embargo cuando la concentración es muy elevada las valvas de los organismos empiezan a cerrarse, lo que conduce finalmente a la disminución de la tasa de filtración (Gosling, 2003).



### **I.2.3.2.2. Temperatura**

La temperatura es considerada como el factor ambiental más importante que determina el metabolismo en organismos poiquiloterms (Bayne *et. al.*, 1976). En general las tasas de filtración y aclaramiento se incrementan en relación directa dentro de un intervalo de temperatura hasta llegar a un óptimo donde se estabiliza. Fuera de ese intervalo, las tasas de filtración y aclaramiento disminuyen drásticamente. Esta relación entre la actividad alimenticia con la temperatura, es específico para cada especie y está relacionado a su historial térmico o de aclimatación (Lopez-Sanchez, 2003).

### **I.2.3.2.3. Salinidad**

La salinidad óptima para que los moluscos bivalvos puedan llevar a cabo el proceso de la filtración es indudablemente la de su hábitat natural, ya que cuando los organismos son transferidos a salinidades más altas o más bajas a las de su hábitat, las tasas de filtración se reducen notablemente, sin embargo cuando los organismos pasan por un periodo de aclimatación la tasa de filtración no se ve afectada (Gosling 2003).

## **I.3. Moluscos utilizados para evaluar la biorremediación de efluentes**

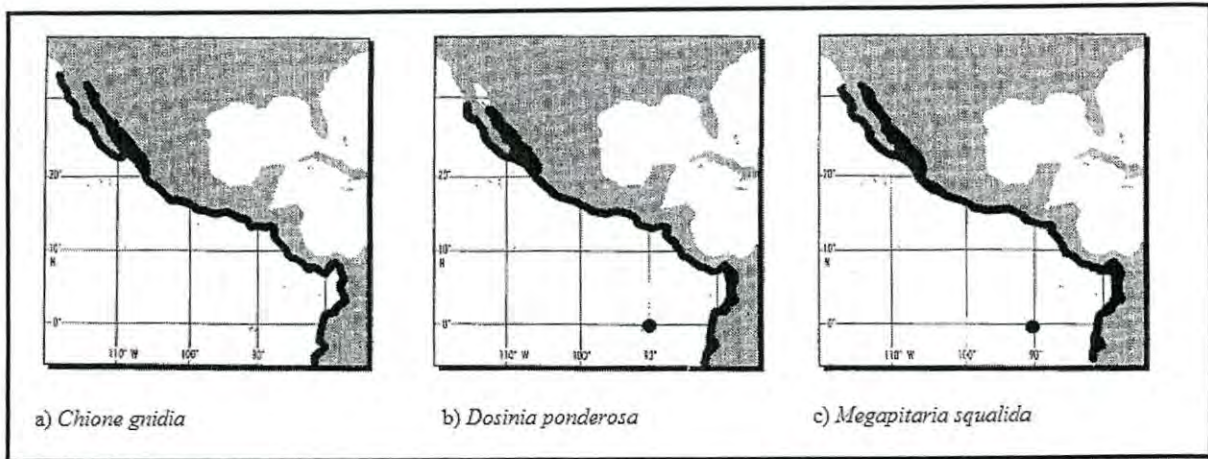
El presente estudio se centra en la evaluación de la capacidad de filtración (medida como la tasa de clarificación), consumo de oxígeno y la excreción de amoníaco de tres de los bivalvos más importantes comercialmente, *Chione gnidia*, *Dosinia ponderosa* y *Megapitaria squalida*, recolectados de las áreas impactadas y no impactadas de la zona costera de Sonora, en el noroeste de México.

### I. 3. 1. *Chione gnidia*

La almeja *Chione gnidia* también conocida como almeja china, se distribuye desde Islas Cedros en el Golfo de California hasta Paita en Perú (Figura 3).

Descripción de la especie: esta especie se caracteriza por ser bastante delgada y levemente prolongada posteriormente, con lúnula y escudete bien definidos. Su escultura externa posee numerosas costillas radiales pequeñas y bajas con costillas concéntricas elevadas, muy espaciadas, delgadas, levantándose para formar escamas espinuladas. Su placa dentaria es relativamente corta y trigonal, con tres dientes cardinales divergentes en cada valva. En cuanto a su coloración, su superficie externa es blanca o crema opaca, a menudo teñida de café en la lúnula y en el escudete; mientras que el color de la superficie interna es blanco (FAO, 1995).

Hábitat y biología: se entierra a poca profundidad en fondos blandos de sedimento fino, tanto en la zona intermareal como mar afuera, hasta 35 m de profundidad. Su talla máxima es de 10 cm, encontrándose comúnmente hasta de 8 cm de longitud (FAO, 1995).



**Figura 3.** Distribución de las almejas *Chione gnidia*, *Dosinia ponderosa* y *Megapitaria squalida*. (FAO, 1995).

### I. 3. 2. *Dosinia ponderosa*

La almeja reina *Dosinia ponderosa* (Gray, 1838) se distribuye desde la Laguna Ojo de Liebre en Baja California Sur hasta Payta, en Perú (Figura 3). Habita en aguas cercanas a la costa, hasta los 60 m de profundidad. Su distribución está dada preferencialmente por el tipo de sustrato y la profundidad, habita por debajo del límite inferior de las mareas, en fondos areno-limosos (Arreola, 1997).

Descripción de la especie: esta especie se caracteriza por poseer una concha tosca y pesada; con una lúnula pequeña más o menos hundida y una superficie externa formada por ribetes concéntricos bastante anchos y aplanados, a menudo menos prominentes en la parte media de la concha, su placa dentaria es sólida y relativamente ancha posteriormente, con 3 dientes cardinales divergentes en cada valva y un diente lateral anterior en forma de tubérculo en la valva izquierda sus bordes internos son lisos y posee una coloración externa blanca, con un periostraco color crema brillante; mientras que su superficie interna es de color blanco (FAO, 1995).

Hábitat y biología: habita en fondos blandos de la zona sublitoral, hasta 80 m de profundidad. Esta especie suele alcanzar una talla máxima de 14.5 cm de longitud, pero comúnmente se le encuentra hasta de 12 cm. (FAO, 1995).

### ***1. 3. 3. Megapitaria squalida***

La almeja *Megapitaria squalida* comúnmente conocida como almeja chocolata (Sowerby, 1835) es uno de los bivalvos más abundantes en el noroeste de México, se distribuye desde la Laguna de Ojo de Liebre en Baja California Sur, México, hasta Macora, Perú (Figura 3). Se encuentra sobre fondos arenosos o lodosos, a una profundidad entre 1 y 120 m. Con respecto a sus tallas, llegan a medir en promedio 120 mm de longitud, 97 mm de alto y 68 mm de ancho. Esta especie se captura para consumo humano a nivel nacional y local (Villalejo-Fuerte *et. al.*, 2000).

Aunque, *M. squalida* es usualmente considerada como una especie con bajo valor comercial, la pesquería de esta almeja en el noroeste de México se ha intensificado y la especie está siendo capturada como un recurso alternativo, cuando las principales especies comerciales no están disponibles por las restricciones del esfuerzo pesquero (Vázquez *et. al.*, 2011).

Descripción de la especie: una de las características morfológicas de esta especie es que poseen una concha gruesa y pesada, alcanzando gran tamaño, alargada-ovalada. Su lúnula es aplanada y mal definida con un escudete poco visible. La superficie externa es lisa, a excepción de una serie de líneas concéntricas esculpidas en los umbos y de estrías bajas, concéntricas de crecimiento. Cuenta con una charnela con 3 dientes cardinales en cada valva y dientes laterales anteriores bien desarrollados y bordes internos lisos. En cuanto a su color, la superficie externa suele ser café clara opaca, bajo un periostraco café-grisáceo brillante, frecuentemente jaspeado o con franjas y su; superficie interna con un borde café claro (FAO, 1995).

Hábitat y biología: principalmente se le encuentra en bancos de lodo arenoso de la zona intermareal y en aguas someras sublitorales, pero también mar afuera hasta 160 m de profundidad. Su talla máxima es de 12 cm; común hasta 7 cm (FAO, 1995).

## II. JUSTIFICACIÓN

Algunas de las áreas costeras del Golfo de California están siendo afectadas por los efluentes de la acuicultura de camarón los cuales a su vez modifican algunas variables ambientales como la salinidad, el oxígeno disuelto, la concentración total y orgánica de sólidos en suspensión (turbidez), y otros. En esas zonas viven diversas especies de bivalvos que a pesar del impacto, tienen una supervivencia relativamente buena. Es plausible suponer que esas especies se han adaptado a estas condiciones por el desarrollo de algunas estrategias de filtración que permiten que prosperen adecuadamente. Las nuevas condiciones también podrían afectar la capacidad de consumo de oxígeno y la excreción de amoníaco. El consumo de oxígeno en los moluscos se ve afectado por diversos factores tales como la temperatura, la salinidad y la tensión del OD (Shumway y Koehn 1982), así como la concentración de sólidos suspendidos y la turbidez (Alexander *et al.*, 1994). La excreción de amonio es afectada por la temperatura (Saucedo *et al.*, 2004), salinidad (Bartberger & Pierce, 1976), y la exposición al aire (De Vooy & De Zwaan 1978). Se ha demostrado que la excreción de amoníaco está estrechamente relacionada a condiciones de estrés como el experimentado en las áreas afectadas, por crustáceos (Comoglio *et al.*, 2002) y moluscos (Widows *et al.*, 1981).

Para utilizar cualquier molusco como organismo biorremediador, es necesario conocer algunos parámetros ecofisiológicos de la especie en base a los cuales se podría establecer su potencial para ser usado con este propósito. Este conocimiento es todavía incipiente para la mayoría de las especies mexicanas. Entre estos parámetros se puede destacar: la tasa de filtración, que indica la cantidad de materia particulada retenida por un organismo por unidad de tiempo (Yu y Culver, 1999). Es por ello que la presente investigación tiene como propósito evaluar el potencial de biorremediación de distintas especies presentes en la región, localizadas en áreas impactadas y no impactadas por efluentes acuícolas.

### **III. OBJETIVOS**

#### **III.1. Objetivo General**

Evaluar la abundancia, distribución y características ecofisiológicas básicas de 3 moluscos bivalvos nativos en áreas impactadas y no impactadas por efluentes acuícolas, con potencial para biorremediación.

##### **III.1.1. Objetivos Particulares**

1. Evaluar distribución y abundancia de 3 moluscos bivalvos en áreas impactadas y no impactadas por efluentes acuícolas, en el noroeste de México.
2. Conocer las características del hábitat natural de estos organismos.
3. Evaluar algunas características ecofisiológicas básicas de los moluscos, que por su abundancia y tipo de hábitat, se presuman con mayor potencial.

## IV. MATERIALES Y METODOS

### IV. 1. Obtención y mantenimiento de los organismos

Los organismos fueron recolectados en dos sitios en la zona centro de la costa de Sonora, un área impactada por efluentes de camarón (N 28 ° 40 '2.58 ", O 111 ° 51' 55,98"), y otra no impactada (N 28 ° 56 '1.80 ", 112 ° O 5 '37.32), esto en colaboración con el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. En cada una de las dos áreas se hicieron muestreos en tres transectos perpendiculares a la costa a distancias de 50, 150 y 300 m. Se colectaron mediante buceo autónomo los organismos en 3 puntos de cada transecto, utilizando un rastrillo metálico para escavar en una superficie de 0.25 m<sup>2</sup>, colectando los moluscos en bolsas de malla. Los organismos fueron transportados vivos y en seco al laboratorio del DICTUS en Hermosillo, Sonora para su identificación y conteo, y posteriormente se pusieron en acuarios para su aclimatación en donde se mantuvieron a una temperatura de 23 ±1 ° C y una salinidad de 36 UPS. Las almejas fueron alimentadas tres veces al día con una cultivo monoalgal de *Chaetoceros muellerii* producido en el mismo laboratorio, con una concentración de aproximadamente 700,000 cél/ml. Los parámetros de calidad del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto), se midieron por medio de una multi-sonda YSI Modelo 6600-0. La concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) se midió por espectrofotometría utilizando el Hach DR2000 siguiendo las instrucciones y los productos químicos que se describen en el manual del equipo. Para mantener la calidad del agua y evitar niveles elevados de amonio, los acuarios se limpiaron diariamente, extrayendo las heces y pseudoheces y se realizó un recambio de agua del 100% cada tres días.



## IV. 2. Cultivo de la microalga

La especie seleccionada como alimento para esta investigación fue la microalga *Chaetoceros muelleri*, proveniente del cepario del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS).

El medio de cultivo utilizado fue el medio f/2 de Guillard y Ryther (1962). Para ello se utilizó un sistema de cultivo estático escalonado. Los cultivos se iniciaron en matraces de 250 mL, posteriormente se escalaron a matraces de 2 litros de capacidad (cultivos madre), después pasaron garrafones de 20 litros y finalmente a columnas de 80 litros.

Antes de iniciar los inóculos, los garrafones se cloraron con 3 mL/L de agua de mar con hipoclorito de sodio comercial durante 24 horas para descartar cualquier contaminante que pudiera estar presente; una vez transcurrido este tiempo, se agregó 0.15 g de tiosulfato de sodio por litro de agua a cada uno de los garrafones para eliminar el cloro residual en un periodo de 2 horas para posteriormente realizar los inóculos.

## IV. 3. Medición de la Tasa de Filtración

La capacidad de filtración fue evaluada mediante la medición de la tasa de filtración. Se colocaron individuos de cada especie de bivalvo en cámaras experimentales de plástico, utilizando tres cámaras como replicas. Se utilizó una cámara más como control en la cual se colocaron las valvas vacías del organismo correspondiente; esto con el fin de determinar la sedimentación por efecto de la hidrodinámica de la concha. Todos los experimentos fueron realizados en condiciones de laboratorio. Los organismos seleccionados para los experimentos eran animales aparentemente saludables y activos, estos se transfirieron a las cámaras de plástico de diferente volumen dependiendo de su tamaño. Para el caso de *Chione gnidia* del área no impactada, *Megapitaria squalida* y *Dosinia ponderosa* de ambas áreas se utilizaron cámaras de 5 litros. En el caso de las almejas *Chione gnidia* del área impactada

las cuales eran más pequeñas se utilizaron cámaras de 250 ml en los cuales se colocaron cuatro ejemplares por recipiente.

La alimentación de los moluscos consistió en dietas de microalga de la especie *Chaetoceros muelleri* como materia total particulada (MTP). La MOP fue obtenida de la diatomea *Chaetoceros muelleri* la cual se calculó considerando un peso seco unitario de 78.66 pg/cel y tomando en cuenta que las fracciones de la sustancia inorgánica y orgánica son del orden de 33.97 pg/cel (picogramo por célula) y 44.69 pg/cel respectivamente (Piña *et al.*, 2004). El alimento fue administrado diariamente excepto 24 horas antes del experimento para desalojar el contenido de heces y pseudoheces del alimento consumido antes del experimento. Se utilizó una suspensión de la microalga con una densidad celular aproximada de  $10 \times 10^4$  cél • ml<sup>-1</sup>, la cual se calculó mediante conteo celular fijando alrededor de 1 mL de suspensión, utilizando lugol (solución de I<sub>2</sub> al 1% y KI al 2% en agua destilada) (Andersen, 2005). Los conteos celulares se llevaron a cabo empleando un hematocitómetro de 0.1 mm de profundidad en un microscopio compuesto Carl Zeiss Axiostar Plus utilizando el objetivo 10x. El número de células se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{No. cél/ml} = (\# \text{ células totales} / \# \text{ cuadros contados}) \times 10,000$$

Esta densidad celular se mantuvo para evitar la producción de pseudo-heces (Berg *et al.*, 1996). Para mantener la suspensión homogénea, se utilizó aireación por medio de piedras difusoras, tratando de mantener los difusores no muy cercanos a los organismos para evitar perturbaciones.

Se consideró un tiempo de 40 minutos para la evaluación de la tasa de filtración de las almejas, basado en las experiencias de los estudios previos donde se ha demostrado que tiempos más largos pueden provocar estimaciones erróneas debido a procesos de re-filtración (Riisgård, 2001).

El tiempo estimado de cada experimento, inició desde el momento en el que los moluscos abrieron sus valvas considerando que la filtración comenzó en ese momento. Transcurrido este tiempo se tomaron 25 ml de suspensión de cada una de las cámaras y fueron fijados en lugol para poder realizar el conteo de partículas.

La concentración de partículas en suspensión se midió en un contador Coulter Counter Beckman Z2 and Analyzer Beckman Coulter.

La tasa de filtración (TF), expresada en  $L \cdot h^{-1}$  representa el volumen de agua completamente limpia de partículas suspendidas en un tiempo determinado, y se calcula de acuerdo a Jørgensen (1990) mediante la siguiente fórmula:

$$TF = V \cdot (\ln C_i - \ln C_f) / FC \cdot t$$

Donde TF es la tasa de filtración en litros, V es el volumen de la cámara experimental,  $\ln C_i$  es el logaritmo natural de la concentración inicial,  $\ln C_f$  el logaritmo natural de la concentración final, FC el factor alométrico (0.434) y t es el periodo de tiempo que duró la medición en minutos.

#### **IV.4. Medición de la tasa de clarificación**

Esta variable fisiológica (TC), fue evaluada de acuerdo al procedimiento descrito por Winter (1978), consistió en multiplicar la tasa de filtración por el peso seco de la microalga, excluyendo de manera aproximada la microalga sedimentada por efecto hidrodinámico de las valvas en cada unidad experimental. El resultado de esta tasa fue expresado en  $m \cdot h^{-1}$ .

#### **IV.5. Normalización**

Las tasas obtenidas en estos experimentos se refieren a cada uno de los individuos, por lo cual son susceptibles de mostrar variaciones causadas por las diferencias en peso de las almejas. Por lo anterior, con el fin de poder realizar comparaciones válidas, todas las tasas de filtración se normalizaron a 1 g de peso seco de los moluscos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TF (g) = TF \cdot (b^{0,75})^{-1}$$

Donde TF (g) es la tasa de aclaración estandarizada; TF es la tasa de aclaración no estandarizada, y b es el peso seco del organismo en gramos (Hawkins *et al.*, 1998).

Para obtener el peso seco, las almejas fueron desconchadas y la parte comestible se pesó, se secó durante 48 h en una estufa a 90 ° C, y se pesó de nuevo hasta peso constante.

#### **IV.6. Tasa de consumo de Oxígeno**

Las mediciones de las variables indicativas de la calidad del agua (temperatura, salinidad) y la tasa de consumo de oxígeno se realizaron con una multisonda YSI modelo 6600-0 al iniciar y finalizar cada corrida experimental en cada una de las cámaras que contenían a los organismos. Un organismo fue puesto en cada una de las tres cámaras, y uno más se utilizó como control en el que se colocaron las valvas vacías del organismo correspondiente. Los organismos se colocaron en la cámara experimental y fueron herméticamente cerradas, con oxígeno a saturación de agua de mar. Debido a las diferencias de tamaño entre las especies que fueron utilizadas las cámaras variaron de volumen, para

*Chione gnidia* y *Megapitaria squalida* se utilizaron cámaras de 1 litro, para *Chione gnidia* de área impactada de 250 ml en los cuales se colocaron cuatro ejemplares por cámara, y para el caso de *Dosinia ponderosa* del área impactada y no impactada, fueron de 3 litros. Los valores registrados en cada cámara experimental fueron corregidos considerando la concentración de O<sub>2</sub> en la cámara testigo para expresarlos en mg·L.

#### **IV.7. Tasa de excreción amoniacal**

Para medir la tasa de excreción amoniacal se tomaron muestras de 25 ml del agua de las cámaras experimentales que contenían a los organismos, esto antes y después de iniciar el experimento, las muestras fueron analizadas por espectrofotometría, usando el equipo HACH DR2000 siguiendo las instrucciones y los productos químicos que se describen en el manual del equipo. Los promedios obtenidos fueron corregidos, por diferencia, tomando en cuenta la concentración de amonio en el tratamiento testigo, expresando los resultados en mg·L.

#### **IV.8. Análisis Estadístico**

Los datos de las tasas de clarificación, consumo de oxígeno y excreción amoniacal fueron sometidos a pruebas de normalidad de Lilliefors (Conover 1999) y homocedasticidad de Bartlett (Zar 1999), para corroborar que los datos fueran normales y homocedásticos. Se utilizó un Análisis de Varianza de dos vías para establecer si existen o no diferencias entre las especies y zonas. Se utilizó una prueba de Tukey para comparar y clasificar los medios.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### V.1. Distribución, abundancia, densidad y tipo de sedimento de las especies recolectadas

En el presente estudio se recolectaron 88 organismos pertenecientes a las 3 especies: *Dosinia ponderosa*, *Megapitaria squalida* y *Chione gnidia*. De estas tres especies la más abundante fue la almeja *D. ponderosa*, la cual se encontró tanto en el área impactada como en la no impactada con alta abundancias, (36 y 24 organismos respectivamente). *M. squalida* fue también abundante, pero únicamente fue encontrado en la zona no impactada con una abundancia de 12 organismos, mientras que *C. gnidia* fue la especie con menor abundancia que fue recolectada en ambas zonas de estudio, encontrándose únicamente 8 organismos en cada una de las áreas (Tabla 1).

La almeja *Dosinia ponderosa* fue encontrada en el área impactada en sedimentos de arena muy fina mientras que en el área no impactada se encontró en fondos de arena fina y arena media. Se encontraron especímenes con un promedio 14 cm. de longitud

*Megapitaria squalida* fue encontrada en sedimentos de arena fina y arena media. Los especímenes encontrados midieron en promedio 7 cm. de longitud.

Las almejas de la especie *Chione gnidia* fueron encontradas en sedimento de arena muy fina en el caso del área impactada, los organismos aquí encontrados tenían una longitud de 2 cm; las almejas del área no impactada median aproximadamente 8 cm de longitud, éstas se encontraron sobre fondos de arena fina.

**Tabla 1.** Distribución, abundancia, densidad y tipo de sedimento en el que se recolectaron las 3 especies de moluscos bivalvos en los dos sitios de estudio

Sitio	Especie	Abundancia número de organismos colectados	Densidad m <sup>2</sup>	Sedimento
<b>Área Impactada</b>	<i>Dosinia ponderosa</i>	36	18	Arena muy fina
	<i>Chione gnidia</i>	8	8	Arena muy fina
<b>Área no impactada</b>	<i>Dosinia ponderosa</i>	24	6	Arena fina y arena media
	<i>Megapitaria squalida</i>	12	6	Arena fina y arena media
	<i>Chione gnidia</i>	8	4	Arena fina

**Tabla 2.** Promedio ± desviación estándar de la materia total particulada (MTP) y material orgánica en suspensión (MOP) (*Chaetoceros muelleri*) ofrecida a los bivalvos para evaluar la tasa de clarificación

	<i>Chione gnidia</i> Área impactada	<i>Chione gnidia</i> Área no impactada	<i>Megapitaria squalida</i> Área no impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área no impactada
<b>MTP (mg·L<sup>-1</sup>)</b>	21.45	26.13	25.88	27.43	22.10
<b>D.E.±</b>	5.28	8.01	9.19	14.16	1.45
<b>MOP (mg·L<sup>-1</sup>)</b>	10.48	11.30	12.04	11.77	10.71
<b>D.E.±</b>	1.36	1.57	1.83	2.67	0.97

## V.2. Materia total particulada y materia orgánica total

La Tabla 2 presenta la materia total particulada y materia orgánica total de la suspensión ofrecida a los bivalvos para evaluar su tasa de clarificación, la cual no difirió significativamente entre las unidades experimentales, presentando concentraciones de  $21.45 \pm 5.28$  a  $27.43 \pm 14.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de los cuales el porcentaje de materia orgánica varió del 42.91 al 48.86%. Los valores de MTP son adecuados considerando que el valor promedio más bajo registrado en las granjas camaroneras semi-intensivas es de 25 mg/L. Los porcentajes propuestos para cada una de las dos fracciones que componen la MTP, fueron de 60% de materia inorgánica particulada y del 40% de materia orgánica particulada (MOP) (Miranda, 2005). El porcentaje de MOP obtenido en este experimento se encuentra dentro de los porcentajes propuestos para la fracción orgánica.

## V.3. Peso total y peso del tejido blando seco

La media  $\pm$  desviación estándar del peso total y peso del tejido blando seco de todas las especies recolectadas tanto en áreas impactadas y no impactadas, se presentan en la Tabla 3. El peso total de *C. gnidia* fue mucho mayor para los organismos de las áreas no afectadas en comparación con los de las áreas impactadas, esto debido a que los organismos encontrados en el área no impactada eran adultos, en cambio los organismos del área afectada eran juveniles de aproximadamente 2.0 cm de ancho. Por el contrario, *D. ponderosa* de las zonas impactadas tuvieron un mayor peso total que los organismos de las zonas no impactadas, a diferencia de *C. gnida*, todos los organismos recolectados eran de talla adulta, esta variación de peso puede deberse a que los individuos mayores de 10.0 cm de longitud varían en el peso húmedo debido a los cambios estacionales en el tamaño de la gónada, pues cuando están maduros aumentan su peso, independientemente de la longitud de la concha. Las variaciones en peso son mayores mientras mayor talla alcanza cada individuo (Arreola, 1997). La misma tendencia fue observada para el peso del tejido blando seco, aunque para *D.*



*ponderosa*, las diferencias no fueron significativas. Para el caso de *Megapitaria squalida* la cual únicamente fue encontrada en el área no impactada el peso total fue similar al reportado por Quiñones-Arreola en el 2003, el cual fue de  $141.6 \pm 49.1$ .

#### V.4. Tasa de clarificación

Con respecto a la tasa de clarificación (TC), se encontraron diferencias significativas entre las especies evaluadas (Tabla 4). Las almejas de la especie *Dosinia ponderosa* mostraron tasas mucho más altas en comparación con *Chione gnidia*, independientemente de la zona. Cuando se compara la misma especie pero de diferentes áreas, para *C. gnidia* no se observaron diferencias en la tasa de clarificación, sin embargo para *D. ponderosa* los organismos de las zonas impactadas tuvieron tasas de clarificación mucho más altas que los de las zonas no impactadas. A pesar de que las almejas de la especie *Megapitaria squalida* únicamente fueron encontradas en el área no impactada, presentaron tasas de clarificación más altas que las otras dos especies de ambas áreas.

Cuando los organismos acuáticos, con poca o ninguna capacidad de desplazamiento son sometidos a condiciones adversas, deben desarrollar estrategias para sobrevivir y prosperar en esas condiciones. En el caso de los moluscos bivalvos, algunas de estas estrategias puede ser la mejora de su capacidad de filtración y la modificación del consumo de oxígeno y la excreción de amonio. Nieves-Soto *et al.*, (2013) demostraron en laboratorio que las tasas de filtración y clarificación del callo de hacha *Atrina tuberculosa* varían significativamente cuando la temperatura y la concentración de alimento varían. Encontraron que a la temperatura de 28°C (similar a la que prevalece en las zonas de estudio), la tasa de clarificación fue significativamente mayor cuando la concentración de alimento fue mayor. Esto sugiere que los bivalvos considerados en el presente estudio, procedentes de las zonas impactadas con una alta concentración de sólidos suspendidos (incluyendo microalgas), tendrían una tasa de clarificación más alta que los de las zonas no afectadas, la cual puede considerarse una estrategia ante grandes concentraciones de seston en ambientes naturales de

**Tabla 3.** Promedio  $\pm$  desviación estándar del peso total y peso del tejido blando seco de los bivalvos provenientes de la zona costera de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México

	<i>Chione gnidia</i> Área impactada	<i>Chione gnidia</i> Área no impactada	<i>Megapitaria squalida</i> Área no impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área no impactada
<b>Peso total</b>	6.33	337.35	126.06	388.63	168.33
<b>D.E. <math>\pm</math></b>	0.16	38.54	55.70	62.10	28.03
<b>Peso del tejido blando seco</b>	0.217	8.294	2.849	7.610	6.547
<b>D.E. <math>\pm</math></b>	0.031	0.767	0.668	1.378	1.572

**Tabla 4.** Tasa de clarificación ( $L^{-1} h^{-1} g^{-1}$ ) de *Chione gnidia*, *Dosinia ponderosa* y *Megapitaria squalida* provenientes de la zona costera de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México

( $L^{-1}h^{-1}g^{-1}$ )	<i>Chione gnidia</i> Área impactada	<i>Chione gnidia</i> Área no impactada	<i>Megapitaria squalida</i> Área no impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área no impactada
<b>Rep 1</b>	0.080	0.106	2.185	1.198	0.184
<b>Rep 2</b>	0.069	0.059	1.159	1.118	0.214
<b>Rep 3</b>	0.097	0.059	1.312	1.288	0.183
<b>Promedio</b>	0.082a	0.074a	1.552	1.201c	0.194b
<b>D.E. <math>\pm</math></b>	0.014	0.027	0.553	0.085	0.018

Diferentes letras significan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )

alta productividad (Miranda *et al.*, 2006). Esto se cumplió únicamente sólo para las almejas de la especie *D. ponderosa* ya que los organismos de las zonas afectadas registraron una TC promedio más de 6 veces mayores que los de las zonas no impactadas. Para *C. gnidia* las tasas de clarificación fueron muy similares en ambas áreas. Una explicación plausible de estas diferencias entre las especies, es el tamaño y la edad de los organismos evaluados, existe evidencia que el área de la branquia mantiene una correlación positiva con la tasa de filtración y clarificación (Meyöfer, 1985; Pouvrey *et al.*, 1999). Los individuos de *D. ponderosa* eran mucho más grandes y de mayor edad que los individuos de *C. gnidia*. Esto implica que las primeras habían sido sometidas por más tiempo a las condiciones adversas, lo que probablemente les permitió desarrollar mejor su estrategia de filtración. Para el caso de la especie *Megapitaria squalida* no fue posible comparar entre áreas ya que estas únicamente fueron encontradas en el área no impactada, sin embargo su tasa de clarificación fue la más alta, esto tal vez se deba a que a la temperatura a la que se llevó a cabo el experimento fue la temperatura óptima para esta especie ya que la relación entre la actividad alimenticia con la temperatura es específica de cada especie, la temperatura es considerada como el factor ambiental más importante que determina el metabolismo en los organismos poiquiloterms (López-Sánchez, 2003) . Enríquez-Ocaña *et al.* (2012) reportaron para *Crassostrea conrteziensis* una TC de  $0,45 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a una temperatura de  $23 \text{ }^\circ \text{C}$  y una salinidad de 35 PSU. Sin embargo, cuando la temperatura fue  $32 \text{ }^\circ \text{C}$ , la TC alcanzó  $1.607 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Ese último valor fue similar al encontrado en el presente estudio para *D. ponderosa* del área impactada, pero mucho mayor que el registrado para *C. gnidia* de las dos zonas, y *D. ponderosa* de la zona no impactada. Resultados similares fueron documentados para *Anadara tuberculosa* por Nieves-Soto *et al.* (2011), quienes encontraron altas tasas de clarificación a alta temperatura ( $30 \text{ }^\circ \text{C}$ ) y salinidad de 30 y 40 UPS, Miranda y colaboradores (2009) encontraron para esta misma especie una tasa de clarificación  $0.41 \text{ L/h/g}$ . No hay estudios específicos sobre la capacidad de filtración de *D. ponderosa* y *M. squalida* que hayan sido reportados en la literatura científica revisada.

## V.5. Tasa de consumo de oxígeno (TCO) y tasa de excreción amoniacal (TEA)

En la tabla 5 se muestran los valores para consumo de oxígeno y excreción amoniacal en  $\text{mg L}^{-1}$  para las tres especies evaluadas. No se encontraron diferencias entre las áreas de la misma especie, lo que significa que el impacto ambiental no indujo a los bivalvos que evaluamos para modificar su consumo de oxígeno. Por el contrario Alexander *et al.* (1994) informaron que en el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), el CO se vio afectada significativamente por la temperatura y la turbidez. Haure *et al.* (1998) informaron de *Ostrea edulis*, los consumos de oxígeno desde 0,3 hasta 1,8  $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , siendo mayor a temperaturas más altas. El consumo de oxígeno para *Megapitaria squalida* fue el más bajo obteniéndose un valor de 0.48  $\text{mg L}^{-1}$ . Los valores encontrados están dentro de este rango a excepción de *C. gnidia* de las zonas afectadas, el cual fue un poco más alto (2.17  $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ).

La tasa de excreción amoniacal (TEA) de *C. gnidia* del área impactada fue tres veces mayor en comparación con la misma especie de la zona no afectada, mientras que *D. ponderosa* registró tasas mucho más bajas para organismos de ambas áreas (Tabla 5). En este escaso, parece que las condiciones de impacto afectaron solo la excreción amoniacal en *C. gnidia* pero no en *D. ponderosa*. Para *M. squalida*, la TEA fue menor que para las otras dos especies, lo cual parece indicar que se encontraba en una situación de confort en su hábitat natural (no impactado) y que se adaptó muy bien a las condiciones de laboratorio.

La tasa de consumo de oxígeno (TCO) fue también mayor para *C. gnidia* que para las otras dos especies independientemente de su área de procedencia; sin embargo fue mayor en organismos procedentes del área impactada. En cambio para *D. ponderosa*, la TCO fue mayor en organismos del área no impactada. Para *M. squalida*, la TCO fue menor que para las otras dos especies de cualquiera de las dos áreas.

Una menor tasa de excreción amoniacal y un aumento en el consumo de oxígeno pudieran ser indicativos de una mejor condición fisiológica del organismo (Bayne & Scullard, 1977; Saucedo et al. 2004).

Se ha documentado desde hace muchos años que la excreción de amonio es una respuesta de los organismos al estrés ambiental y la contaminación (Bayne *et al.* 1979). Grant y Thorpe (1991) encontraron que la almeja de concha blanda *Mya arenaria*, tuvo una disminución significativa en el consumo de oxígeno y el aumento en la excreción de amoníaco cuando se sometió a alta turbidez. Este resultado concuerda con los aquí reportados, en los que *C. gnidia* de las zonas afectadas con una alta concentración de sólidos en suspensión (turbidez), tuvo una mayor TEA y una TCO menor en comparación con los organismos de las zonas no afectadas.

**Tabla 5.** Promedio  $\pm$  desviación estándar de la tasa de consumo de oxígeno (TCO) y la tasa de excreción de amonio (TEA) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) por individuo de *Chione gnidia*, *Dosinia ponderosa* y *Megapitaria squalida* provenientes de las áreas impactadas y no impactadas en Sonora, México

	<i>Chione gnidia</i> Área impactada	<i>Chione gnidia</i> Área no impactada	<i>Megapitaria squalida</i> Área no impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área impactada	<i>Dosinia ponderosa</i> Área no impactada
<b>TCO</b>	2.17b	1.71b	0.48a	1.16b	1.28b
<b>D.E. <math>\pm</math></b>	0.56	0.69	0.27	0.30	0.27
<b>TEA</b>	0.195b	0.060ab	0.035	0.015b	0.033b
<b>D.E. <math>\pm</math></b>	0.023	0.071	0.021	0.007	0.010

Diferentes letras significan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )

## VI. CONCLUSIONES

En base a los resultados del presente estudio se puede concluir que los bivalvos evaluados han desarrollado diferentes estrategias para sobrevivir y prosperar en condiciones de impacto ambiental producido por las descargas de la acuicultura de camarones.

La almeja reina *D. ponderosa* mejoró su capacidad de filtración, mientras que *C. gnidia* ha modificado su consumo de oxígeno y la excreción de amonio.

Esto indica que ambas especies, pero sobre todo la almeja reina puede ser un buen prospecto para biorremediación debido a su mayor TC bajo condiciones de impacto.

La almeja chocolate *M. squalida*, presentó tasas de clarificación mejores que las otras dos especies, sin embargo es necesario evaluar al organismo bajo condiciones adversas (mayor turbidez, SST, etc.) para confirmar su potencial como organismos biorremediador.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar el experimento con diferentes concentraciones de sólidos suspendidos así como a diferentes temperaturas.

También es recomendable utilizar diferentes especies de microalgas como material particulado o una mezcla de ellas, ya que se ha demostrado que la tasa de filtración y aclaramiento se ven afectadas con la calidad del alimento.

Es importante evaluar las características ecofisiológicas de otras especies de moluscos bivalvos nativos del Golfo de California.



## VIII. LITERATURA CITADA

- Alexander Jr. J.E., Thorp, J.H. & Fell, R.D.** 1994. Turbidity and Temperature Effects on Oxygen Consumption in the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51:179-184.
- Andersen, R.A.** 2005. Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press. USA. 578p.
- Arreola, H. J. F.** 1997. Aspectos reproductivos de *Dosinia ponderosa*, Gray 1983 (Bivalvia: Veneridae) en punta arena, Bahía Concepción B.C.S. Tesis de Maestría. Instituto Politecnico Nacional. 85 p.
- Bacon, G. S., MacDonald, B.A. & Ward, J.E.** 1998. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles. I. Feeding activity and selection. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 219:105-125.
- Balasubramanian, C.P., Pillai, S.M., & Ravichandran, P.** 2005. Zero-water exchange shrimp farming systems (extensive) in the periphery of Chilka lagoon, Orissa, India. Aquaculture International 12, 555-572.
- Baqueiro, E.** 1979. Sobre la distribución de *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby), *M. squalida* (Sowerby) y *Dosinia ponderosa* (Gray) en relación a la granulometría del sedimento (Bivalvia: Veneridae): Nota científica. An. Centro Cien. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 6(1): 25-32.
- Baqueiro, C. E. y Aldana, A.D.** 2000. A review of reproductive patterns of bivalve mollusks from Mexico. Bulletin of Marine Science, vol. 66 (1): 13-27.
- Barnes, P.** 2006. Shellfish Culture and Particulate Matter Production and Cycling: A Literature Review. 46 p.
- Bartberger C.A. & Pierce Jr. S.K.** 1976. Relationship between ammonia excretion rates and hemolymph nitrogenous compounds of a euryhaline bivalve during low salinity acclimation. Biological Bulletin, 150:1-14.
- Bayne, B. L.** 1976. Marine Mussels: Their Ecology and Physiology. Cambridge University Press, Cambridge U.K. 506 pp.

- Bayne, B.L., Moore, M.N., Widdows, J., Livingstone, D.R., Salkeld, P., Crisp, D.J., Morris, R.J., Gray, J.S., Holden, A.V., Newell, R.C., & McIntyre, A.D.** 1979. Measurement of the Responses of Individuals to Environmental Stress and Pollution: Studies with Bivalve Mollusks. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 286:563-581.
- Bayne, B.L. & Scullard, C.** 1977. Rates of nitrogen excretion by species of *Mytilus* (Bivalvia: Mollusca). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 57:355-369.
- Braaten, C.E.** 1991. Impact of pollution from aquaculture in six Nordic countries. Release of nutrients, effects and waste water treatment. En: *Aquaculture and the Environment*, European Aquaculture Society Special Publication NO 16. (ed. By N. de Pauw, J. Joyce). pp. 79-101. Fishing News Books Oxford, UK.
- Boyd, C.A., Boyd, C.E. & Rouse, D.B.** 2006. Estimates of bottom soil and effluent load of phosphorous a semi-intensive marine shrimp farm. *Aquaculture America 2006. Abstracts*. World Aquaculture Society 35 p.
- Chavez-Crooker P & J Oberque-Contreras.** 2010. Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opinion in Biotechnology*, 21:313-317.
- Chipin, T., Buschmann, A., Halling, C., Troell, M., Kaustky, N. Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-Gonzalez, J. A., Yarrish, C., & Neefus, C.** 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key Toward sustainability. *J. Phycol.* 37: 975- 986.
- Comoglio L, Gaxiola, G., Roque, A., Cuzon, G & Amin, O.** 2002. The effect of starvation on re-feeding, digestive enzyme activity, oxygen consumption, and ammonia excretion in juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal Of Shellfish Research*, 23:243- 249.
- De Vooy, C.G.N. & De Zwaan, A.** 1978. The rate of oxygen consumption and ammonia excretion by *Mytilus edulis* after various periods of exposure to air. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 60:343-347.
- De Schryver, P., Crab, R. Deforidt, T. Boon, N. and Verstraete, W.** 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125-137.
- Dupuy, C., Vaquer, A., Lam-Höai, T., Rougier, C., Mazouni, N., Lautier, J., Collo, Y., & Le Gall, S.** 2000. Feeding role of the oyster *Crassostrea gigas* in a natural planktonic community of the Mediterranean Thau Lagoon. *Marine Ecology Progress Series* 205: 171-184.

- Enriquez-Ocaña L.F., Nieves-Soto, M., Piña-Valdez, P., Martínez-Córdova, L.R. & Medina- Jasso, M.** 2012. Evaluation of the combined effect of temperature and salinity on the filtration, clearance rate and assimilation efficiency of the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951). Archives of Biological Sciences, 64:479-488.
- FAO.** 1995 Guía FAO para la identificación de Especies para los Fines de la Pesca. p. 1-646. En Fischer, W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K.E.; Niem V.H. Pacífico centro-oriental. Volumen I. Plantas e Invertebrados.
- FAO.** 2009. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2008.
- FAO.** 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma. 231 p.
- Fariás, S. A.** 2003. Biología y Ecología de los Moluscos. p. 43-80. En: Cultivo de Moluscos.
- Filgueira, R. C.** 2007. Comportamiento alimentario del mejillón *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) en las condiciones tróficas de las Rías Gallegas. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo. 155 p.
- García-Domínguez, F.A., Félix-Pico, E.F., Juárez-Olvera, C.C., & Romero-Ibarra, N.** 1994. Alimentación de *Chione gnidia* (Broderip & Sowerby, 1829), *C. undatella* (Sowerby, 1835) y *C. californiensis* (Broderip, 1935) (Veneridae) en la ensenada de la paz, B.C.X, México. Inv. Mar. CICIMAR, 9(2):113-117.
- Gosling, E.** 2003. How Bivalves Feed. p. 87-130. En Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture.
- Grant J & Thorpe, B.** 1991. Effects of Suspended Sediment on Growth, Respiration, and Excretion of the Soft-Shell Clam (*Mya arenaria*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 48:1285-1292.
- Haamer, J.** 1996. Improving water quality in a eutrophied fjord system with mussel farming. *AMBIO* 25(5):356-362.
- Haure J, Penisson, C., Bougrier, S & Baud J.P.** 1998. Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients. *Aquaculture*, 169:211-224.
- Hawkins, A.J.S, Smith, R.F.M, Bayne, B.L, & Heral, M.** 1996. Novel observations underlying the fast growth of suspension feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis* L. *Mar Ecol Prog Ser* 131: 179-190.

- Hawkins, A.J., Bayne, B.L., Bougrier, S., Héral, M., Iglesias J.I.P., Navarro, E., Smith, R.F.M. & Urrutia, M.B.** 1998. Some general relationships in comparing the feeding physiology of suspension-feeding bivalve mollusks. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 219:87-103 p.
- Jakob, G.S., Pruder, G. D. & Wang, J. K.** 1993. Growth trial with the American oyster *Crassostrea virginica* using shrimp pond water as feed. *Journal of the World Aquaculture Society* 24(3): 344-351.
- James, M. R., Weatherhead, M.A., & Ross, A.H.** 2001. Size- specific clearance, excretion, and respiration rates, and phytoplankton electivity for the mussel *Perna canaliculus* at low levels of natural food. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 35: 73- 86.
- Jones, A.B. & Preston, N.P.** 1999. Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley), filtration of shrimp farm effluent: the effects on water quality. *Aquaculture Research* 30:51-57.
- Jones, A.B., Dennison, W.C. & Preston, N.P.** 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* 193:155-178.
- Jones, O.T. & Iwama, K.J.** 1991. Polyculture of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* with chinool salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, 92: 313-322.
- Jørgensen, C.B.** 1990. Bivalve filter feeding: hydrodynamics, bioenergetics, physiology and ecology. Olsen & Olsen. Fredensborg, Denmark
- Keen M.** 1971. Seashells of Tropical West America. Stanford University Press. Stanford, CA, USA. 1025 p.
- Kuhn, D. D., Boardman, G. D., Craig, S. R., Flick Jr. G. J. & Mclean, E.** 2009. Use of microbial flocs generated from tilapia effluent as a nutritional supplement for shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Panorama Acuicola* 14(1):32-35.
- Lefebvre, S., Barrillé, L. & Clerck. M.** 2000. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture*. 187:185-198 p.
- López-Sánchez, J.A.** 2003. Tasa de filtración y aclaramiento en la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) a dos tallas, en función de la temperatura y cantidad de alimento. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. 84 p.

- Martinez-Cordova, L.R., Martinez-Porchas, M.**, 2006. Polyculture of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas*, and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. *Aquaculture* 258, 321-326.
- Martinez-Cordova, L.R, Enriquez-Ocaña, L. F.**, 2007. Study of the benthic fauna in a discharge lagoon of a shrimp farm with special emphasis on polychaeta. *Online Journal of Biological Sciences* 7, 12-17.
- Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., Cortés-Jacinto, E.**, 2009. Camaronicultura Mexicana y Mundial: ¿Actividad sustentable o Industria Contaminante?. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25, 181-196.
- Martinez-Cordova, L.R., López-Elías, J.A., Martínez-Porchas, M. Bernal- Jaspeado, T. & Miranda-Baeza, A.** 2011. Studies on the biorremediation capacity of adult black clam, *Chione fructifraga*, of shrimp culture effluents. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46: 105-113.
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L.R., Porchas-Cornejo, M., & López-Elías, J.A.**, 2009. Shrimp polyculture: A potentially, profitable, sustainable but yet uncommon aquacultural practice. *Reviews in Aquaculture* *In press*.
- Miranda-Baeza, A.** 2005. Remoción de materia particulada en efluentes de estanquería de camarón con *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda:Arcidae) (Sowerby,1833). Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada B.C. México, 124 p.
- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D. y Cordero-Esquivel, B.** 2006. *Rev. Biol. Trop.* 54: 787-792.
- Miranda, A., Voltolina, D. Izaguirre, G., Osuna, I.& Sandoval, I.** 2009. Removal of suspended solids from the effluents of a shrimp farm by the blood ark, *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833). *Hidrobiologica* 19:173- 176.
- Meyhöfer, E.** 1985. Comparative pumping rates in suspension- feeding bivalves. *Mar Biol.* 85:137-142. Neori, A., Troell, M., Chopin, C., Yarish, A. Critcheley and Buschmann, A.H. 2007. The need for a balance ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environment* 49(3): 36-46.
- Nieves, M., Lopez., Medina, M.A., Piña, P., Leal, S. y López-Elías.** 2009. Producción y calidad de *Chaetoceros muelleri* a diferentes concentraciones de nutrientes y densidades de inóculos. *Rev. Invest. Mar.* 30(2): 123-133.

- Nieves-Soto M, F Enriquez-Ocaña, P Piña-Valdez, AN Maeda-Martínez, JR Almodóvar-Cebreros & H Acosta-Salmón. 2011.** Is the mangrove cockle *Anadara tuberculosa* a candidate for effluent bioremediation? Energy budgets under combined conditions of temperature and salinity. *Aquaculture*, 318:434–438.
- Nieves-Soto, M., Enríquez-Ocaña, L.F., Piña-Valdéz, P., Maeda-Martínez, A., Almodovar- Cebrreros. R. & Acosta-Salomon, H. 2013.** Is the mangrove cockle *Anadara tuberculosa* a candidate for effluent bioremediation? Energy budgets under combined conditions of temperature and salinity. *Aquaculture* 318: 434-438.
- Paniagua-Michel, J. & Garcia, O. 2003.** Ex-situ bioremediation of shrimp culture effluent using constructed microbial mats. *Aquacultural Engineering* 28, 131-139.
- Peña-Messina, E. 2009.** Modelo para la biorremediación de efluentes camaronícolas en Nayarit, utilizando bivalvos y macroalgas nativas. Tesis de doctorado en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Piña-Valdez, P. 2004.** Balance energético de los estadios larvarios de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*, Boone) con una dieta tradicional y con otra no tradicional. Tesis de Doctorado en Ciencias Pecuarias. Facultad de Agricultura. Posgrado inter-institucional en ciencias pecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit. 112 p.
- Petersen, J. K., Bougrier, S., Smaal, A.C., Garen, P., Robert, S. Larsen, J. E. N. & Brummelhuis, S. 2004.** Intercalibration of mussel *Mytilus edulis* clearance rate measurements. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 267:187-194.
- Pouvreau, S., Jonquière, G., & Buestel, D. 1999.** Filtration by the pearl oyster *Pinctada margaritifera*, under conditions of low seston load and small particle size in a tropical lagoon habitat. *Aquaculture* 176: 295-314.
- Quiñones-Arreola, M.F. 2003.** Comparación del patrón reproductivo de *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en la laguna ojo de liebre, Océano Pacífico y en Bahía Juncalito, Golfo de California B.C.S, México. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 68 p.
- Riisgård, H.U. 2001.** On measurement of filtration rates in bivalves –the stony road to reliable data: review and interpretation *Mar Ecol Prog Ser* 211: 275-291.
- Rivera-Monroy, V.H., Torres, L.A., Bahamon, L., Newmark, F., & Twilley, R.R., 1999.** The potential use of mangrove forests as nitrogen sinks of shrimp aquaculture pond effluents: The role of denitrification. *Journal of the World Aquaculture Society* 30, 12-25.

- Saucedo, P.E., Ocampo, L., Monteforte, M. & Bervera, H.** 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). *Aquaculture*, 229:377-387.
- Shpigel, M. & Blaylock, R.A.** 1991. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas* as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92:187-197.
- Shpigel, M., Gasith, A., & Kimmel, E.** 1997. A biomechanical filter for treating fish pond effluents. *Aquaculture*, 152: 103-117.
- Shpigel, M. & Neori, A.** 2007. Microalgae, Macroalgae, and Bivalves as Biofilters in Land- Based Mariculture in Israel. *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities*, 433-446.
- Shpigel, M.** 2005. Bivalves as biofilters and valuable by products in land-based aquaculture systems. *The Comparative Roles of Suspension-Feeders in Ecosystems*, 183-197.
- Shumway, S.E. & Koehn, R.K.** 1982. Oxygen Consumption in the American Oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*, 9:59-68.
- Singh, J.C., Vélez, B. J.A. & Fajardo, M.C.** 1991. Estudio poblacional de la almeja chocolata, *Megapitaria saqualida* (Sowerby, 1835), en Punta Coyote, Bahía de La Paz, B.C.S., México *Ciencia pesquera. Inst. Nal. Pesca. Sria. Pesca, Méx.* 8: 7-22.
- Stirling, H.P. & Okimus, I.** 1995. Growth and reproduction of mussel (*Mytilus edulis*) suspended at salmon cages and shellfish farm in two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, 134: 193-210.
- Summerfelt, R.C., & Penne, C.R.,** 2007. Septic tank treatment of the effluent from a small-scale commercial recycle aquaculture system. *North American Journal of Aquaculture* 69, 59-68.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M, Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., & Vinci, B.,** 2002. *Sistemas de Recirculación para la Acuicultura*. Fundación Chile. Vitacura, Santiago de Chile. 748 p.
- Van Rijn, J.** 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture- A review. *Aquaculture*. 139. 181-201.
- Vázquez-Hurtado, M., Manzano-Sarabia, M., & Ortega-Rubio, A.** 2011. Relación entre las capturas de *Megapitaria saqualida* (Bivalvia: Veneridae) y la temperatura superficial del mar en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 59 (1): 151-157.

- Velasco LA, & Navarro JM.** 2005. Feeding physiology of two bivalves under laboratory and field conditions in response to variable food concentrations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 291: 115–124.
- Villalejo-Fuerte, M., Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B.P., & García-Domínguez, F.** 2000. Ciclo reproductivo de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Veneridae) en Bahía Juncalito, Golfo de California, México. *Hidrobiologica*, 10 (2) pp.165-168.
- Widdows J, Baynea, B.L., Donkina, P., Livingstonea, D.R., Lowea, D.M., Moorea, M.N., & Salkelda, P.N.** 1981. Measurement of the responses of mussels to environmental stress and pollution in Sullom Voe: a base-line study. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences / Volume 80 / January 1981*, pp 323-338.
- Wilson, J. H. & Seed, R.** 1974. Reproduction in *Mytilus edulis* L. (Mollusca: Bivalvia) in Carlingford Lough, Northern Ireland, *Irish Fisheries Investigations Series B*, Department of Agriculture and Fisheries. 15: 3-31.
- Winter, J.** 1973. The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic apparatus. *Marine Biology* 22: 317-328.
- Winter, J.E.** 1978. Fundamental knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*. 13:1-13 p.
- Yu, N. & Culver, D.A.** 1999. Estimating the effective clearance rate and refiltration by zebra mussel *Dreissena polymorpha* in a stratified reservoir. *Freshwater biology*, 41: 481-492.

T-160196