



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**  
**UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN**  
**(BIOLOGÍA MARINA)**

**REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y CRECIMIENTO DE TRES ESPECIES DE MANGLE**  
**EN UN SISTEMA CERRADO CON PECES “PUYEQUE” *Dormitator latifrons***  
**(Richardson, 1884)**

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**  
**BIÓL. PESQ. RAMÓN DE LEÓN HERRERA**

**TUTOR:**  
**DR. FRANCISCO JAVIER FLORES VERDUGO**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA  
MAZATLÁN, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**  
**DRA. GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO**  
INSTITUTO DE BIOLOGIA, UNAM  
**DR. FERNANDO GONZÁLEZ FARÍAS**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, MÉXICO D.F., UNAM  
**DR. FELIPE AMEZCUA MARTÍNEZ**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA  
MAZATLÁN, UNAM  
**DR. DAVID S. VALDÉS LOZANO**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca de manutención durante el periodo de mis estudios de maestría.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por haberme permitido seguir creciendo como profesionalista en esta nueva etapa. Sobre todo a los maestros de la Unidad Académica Mazatlán quienes compartieron sus conocimientos los cuales contribuyeron ampliamente en mi formación.

Al Dr. Francisco Javier Flores Verdugo por confiar en mí, en su grupo de estudiantes y por su constante lucha en la realización de un trabajo ordenado, organizado y valorado gracias Doc. Flores.

Al comité tutor del presente estudio, Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, Dr. Fernando González Farías, Dr. Felipe Amezcua Martínez y al Dr. David Valdés Lozano. Gracias a sus revisiones, acertados comentarios y aportaciones facilitaron la culminación del presente escrito. Agradezco de la manera más atenta su amabilidad y disposición.

Al Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera por facilitarme el uso de aparatos para realizar los análisis de nutrientes.

Al Biólogo Pesquero Onésimo Ramos, gracias por confiar en mí, por su apoyo y ser parte de esta etapa académica gracias "Don Chuy".

Al Dr. Leonardo Moroyoqui Rojo, su disposición tanto en el campo como su ayuda en el trabajo de laboratorio se ven reflejado en la culminación del presente estudio.

A Mis amigos y compañeros del Laboratorio Ecosistemas Costeros al Biol. Eduardo Ramírez Barrón, Ing. Pesqu. Rosa Elena Silva García, el Ing. Pesqu. Jesús Pérez, Ing Biot. Itzel Castillo y a la Ing. Bioq. Ana Karen quien también formo parte de este trabajo, gracias por estar siempre apoyándome y por confiar en mi yo también confío en ustedes, gracias por su amistad.

A todos mis compañeros de generación gracias por compartir esta etapa.

Al personal del Instituto quienes facilitaron la realización de nuestros experimentos, búsqueda de información bibliográfica y trámites administrativos.

A Don Luis, Genaro, Daniel, Esteban, Shover's, Natalia, Clara Ramírez, Magali Cordero, Germán Ramírez, Carlos Suárez. A todos gracias.

## **DEDICATORIA**

### **A mi madre**

#### **Virginia Herrera Sánchez † (1953-2007)**

*Madre aquí sigo buscando mis sueños, nuestros aquellos, aquellos sueños que a pesar de que ya no está conmigo seguimos compartiendo juntos, gracias por seguir siendo parte de mis triunfos y mis fracasos, siempre está en mi corazón y en mi mente.*

### **A mis hermanos:**

*Fredy Adán, Héctor Manuel, Gema Berenice, gracias por ser parte de mi vida, por apoyarme siempre y por confiar en mí, les deseo lo mejor en su vida tanto a ustedes como a su familia los quiero mucho.*

### **A mis sobrinos:**

*Jessica Victoria, Teresita Yamileth, Cristal Guadalupe, Mya Carolina, Ulises Sebastián y al nuevo bebe que ya es parte de la familia. El camino no es fácil, pero son una luz que poco a poco se va iluminando a través del tiempo, sigan adelante, luchen por sus sueños y utilicen el maravilloso mundo de la educación académica para ser grandes profesionistas pero sobre todo mejores seres humanos.*

*A mi amigo Carlos Alberto Rojo García, gracias por ser parte de toda mi vida académica y personal, gracias por tu amistad, por confiar en mí, por apreciar y querer a mi familia, gracias.*

*A mis tíos y tías, primos y primas a todos gracias por apoyarme hoy y siempre, los quiero.*

*Al Dr. Francisco flores Verdugo, gracias Dr., aunque no parezca créame que he crecido personal y académicamente, gracias, le agradezco y admiro siempre su gran apoyo y confianza, pero sobre todo la gran calidad humana que muestra en cualquier aspecto de su vida.*

*A mis amigos del laboratorio Ecosistemas Costeros Leonardo Moroyoqui Rojo, Eduardo Ramírez Barrón, Rosa Elena Silva García, Jesús Pérez e Itzel Castillo, gracias a todos por que cada uno de ustedes contribuyo a que culminara una gran etapa de mi vida académica.*

# ÍNDICE

Página

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESIS</b> .....	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
3.1. Objetivo general .....	4
3.2. Objetivos específicos .....	4
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>5</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	<b>5</b>
5.1. Colecta de semillas y germinación .....	5
5.2. Sistemas cerrados .....	6
5.3. Toma de muestras .....	8
5.4. Determinación de nutrientes y porcentaje de remoción de nutrientes.....	8
5.5. Crecimiento de las plantas de mangle .....	9
5.5.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle.....	10
5.6. Captura y transporte de los peces .....	10
5.6.1. Siembra .....	10
5.6.3. Biometrías de peces .....	11
5.7. Variables físico-químicas .....	11
5.8. Análisis de datos .....	12
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
6.1. Concentración de nutrientes .....	14
6.1.2 Porcentajes de remoción de nutrientes.....	16
6.2. Crecimiento de las plantas de mangle .....	17
6.2.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle.....	19
6.3. Relación longitud-peso de los peces en los estanques con manglar y controles .....	20
6.3.1 Tasa de crecimiento absoluto .....	21
6.4. Variables físico-químicas (O <sub>2</sub> disuelto, temperatura, pH y salinidad) .....	22

<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
7.1. Concentración y porcentajes de remoción de nutrientes .....	23
7.2. Crecimiento de las plantas de mangle .....	27
7.2.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle.....	28
7.3. Relación longitud-peso y tasas de crecimiento de los peces .....	29
7.4. Variables físico-químicas (O <sub>2</sub> disuelto, temperatura, pH y salinidad) .....	30
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>33</b>



## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Frecuencia y monitoreo de las variables físico-químicas durante el ciclo de experimento. ....	11
Tabla 2. Porcentajes promedio de remoción de NID y $\text{PO}_4^{-3}$ de las tres diferentes especies de mangle y controles durante el ciclo de experimento....	17
Tabla 3. Longitud total (cm) y peso (gr) promedios de siembra de <i>Dormitator latifrons</i> .en los estanques con manglar y controles.....	20
Tabla 4. Promedio de los valores de las variables físico-químicas medidas diariamente en los estanques con manglar y controles a dos horas diferente del día (08:00 y 18:00). ....	22
Tabla 5. Porcentajes de remoción de nutrientes demostrados en algunos trabajos con diferentes especies de mangle. ....	25

## LISTA DE FIGURAS

### Página

Figura 1. Esquema representativo de los sistemas cerrados con plantas de mangle y sin plantas (controles).....	7
Figura 2. Concentración promedio de amonio. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da ↓ indica recambio total de agua.....	14
Figura 3. Concentración promedio de nitrito. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da ↓ indica recambio total de agua.....	15
Figura 4. Concentración promedio de nitrato. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento, 2da ↓ indica recambio total de agua.....	15
Figura 5. Concentración promedio de ortofosfatos. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da ↓ indica recambio total de agua. ....	16
Figura 6. Crecimiento en altura de las tres especies de mangle. La flecha indica el mes en el cual fueron incorporadas al experimento. ....	18
Figura 7. Crecimiento de raíz de las tres especies de mangle. La flecha indica el mes en el cual fueron incorporadas al experimento. ....	19
Figura 8. Relación longitud total-peso de <i>Dormitator latifrons</i> correspondiente a los estanques con plantas de manglar. ....	20
Figura 9. Relación longitud total-peso de <i>Dormitator latifrons</i> correspondiente a los controles. ....	21

## RESUMEN

Se evaluó la remoción de nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{-3}$ ) y el crecimiento de tres especies de mangle en un sistema cerrado con peces “puyeques” *Dormitator latifrons* con agua de mar. Se requirieron seis estanques de lona (0.76 m x 3.66 m Ø), en tres de ellos se depositaron 40 plantas de mangle. Uno con *Rhizophora mangle*, otro con *Avicenia germinans* y el tercero con *Laguncularia racemosa*, en el resto de los estanques no se colocaron plantas (controles). En todos los estanques se depositaron 60 peces juveniles, los cuales fueron alimentados diariamente con alimento balanceado con 35 % de proteína. Asimismo se monitoreo el  $\text{O}_2$  disuelto, temperatura y el pH diariamente dos veces al día y la salinidad una vez al día semanalmente. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los porcentajes de remoción de nutrientes entre los estanques con manglar y los controles resultando estos últimos con los porcentajes más bajos de remoción. Para el nitrógeno inorgánico disuelto (NID), se estimó que *R. mangle* removió aproximadamente un 55 %, *A. germinans* un 53 % y *L. racemosa* un 54 %, mientras que los controles presentaron una remoción de 27%, 30% y 28% respectivamente. Para ortofosfatos *R. mangle* removió un 34 %, *A. germinans* un 38 % y *L. racemosa* un 37%, por su parte los controles presentaron una remoción de 23 %, 30 % y 29% respectivamente. Respecto a la altura de las plantas, existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las tres especies de mangle, se encontró que *R. mangle* creció aproximadamente  $1.54 \text{ cm mes}^{-1}$ , *A. germinans*  $1.41 \text{ cm mes}^{-1}$  y *L. racemosa*  $2.10 \text{ cm mes}^{-1}$ . De la misma manera se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la longitud de raíz de las tres especies. *R. mangle* presento un desarrollo del sistema radicular de  $1.69 \text{ cm mes}^{-1}$ , *A. germinans*  $3.25 \text{ cm mes}^{-1}$  y *L. racemosa*  $2.54 \text{ cm mes}^{-1}$ . En cuanto a la biomasa total de las plantas (parte aérea y raíz), no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre *R. mangle* y *A. germinans*, sin embargo al compararlas con *L. racemosa* si existieron diferencias ( $P < 0.05$ ). Los peces presentaron un crecimiento de tipo alométrico negativo. La tasa de crecimiento absoluto obtenida para los peces tanto en los estanques con manglar como en los controles fue la misma con un valor de  $0.19 \text{ g día}^{-1}$ , mientras que la tasa de crecimiento específico lograda para los peces que se colocaron en los estanques con manglar fue de  $0.66 \text{ \% día}^{-1}$ , y en los controles fue de  $0.67 \text{ \% día}^{-1}$ . Se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de remoción de nutrientes entre los estanques con plantas de mangle ( $P < 0,05$ ) y los controles, presentando estos últimos un menor porcentaje de remoción. Sin embargo al comparar los porcentajes de remoción de nutrientes entre las plantas de mangle utilizadas no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las mismas, por lo tanto, cualquiera de las tres especies de mangle requeridas en nuestro experimento pueden ser integradas en un sistema de cultivo de peces “puyeque” como fuente depuradora de nutrientes.

Palabras clave. Plantas de mangle, remoción, nutrientes, crecimiento.

## ABSTRACT

Evaluated the nutrient removal ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ) and the growth of three species of mangrove in a closed system with fishes "puyequés" (*Dormitator latifrons*) with sea water. Were required six ponds of canvas (0.76 m x 3.66 m Ø), in three of them were deposited 40 mangrove plants. One with *Rhizophora mangle*, another with *Avicennia germinans* and the third with *Laguncularia racemosa*, in the rest of the ponds were not deposited plants (controls). In all ponds were deposited 60 fishes, which were fed daily with balanced feed with 35% protein. Dissolved  $\text{O}_2$ , temperature and pH daily twice daily and once daily salinity also was monitored weekly. Significant differences ( $P < 0.05$ ) in the percentages of removal of nutrients between mangrove ponds and controls with the latter resulting in lower removal percentages were found. For dissolved inorganic nitrogen (NID) it was estimated that *R. mangle* removed approximately 55%, *A. germinans* 53% and *L. racemosa* 54%, while controls presented a removal of 27%, 30% and 28% respectively. To orthophosphates *R. mangle* removed 34%, *A. germinans* 38% and *L. racemosa* 37%, meanwhile the controls showed a removal of 23%, 30% and 29% respectively. Regarding plant height, significant differences ( $P < 0.05$ ) for this variable in the three species of mangrove found that *R. mangle* grew about  $1.54 \text{ cm month}^{-1}$ , *A. germinans*  $1.41 \text{ cm month}^{-1}$  and *L. racemosa*  $2.10 \text{ cm month}^{-1}$ . Similarly significant differences ( $P < 0.05$ ) between the root length of the three species. *R. mangle* presented a mangrove root system of  $1.69 \text{ cm month}^{-1}$ , *A. germinans*  $3.25 \text{ cm month}^{-1}$  and *L. racemosa*  $2.54 \text{ cm month}^{-1}$ . In terms of total biomass (shoot and root) of the plants, we found no significant differences ( $P > 0.05$ ) between *R. mangle* and *A. germinans*, however when compared to *L. racemosa* if significant differences ( $P < 0.05$ ). The fish had a negative allometric growth. The absolute growth rate obtained for both fish ponds and mangrove in controls was the same with a value of  $0.19 \text{ g day}^{-1}$ , while the specific growth rate achieved for bodies were placed in the mangrove ponds was  $0.66\% \text{ day}^{-1}$ , and in the controls was  $0.67\% \text{ day}^{-1}$ . There were significant differences in the percentages of nutrient removal between the ponds with plants of mangrove ( $P < 0.05$ ) and controls, presenting the latter a lower percentage of removal. However a comparison of the percentage of nutrient removal between the mangrove plants used there were no significant differences ( $P > 0.05$ ) between the same, therefore, any of the three species of mangrove required in our experiment can be integrated into a system of fish cultivation "puyequé" as a source of plant nutrients.

Keywords. Mangrove Plants, removal, nutrients, growth.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de un siglo se ha estado trabajando en diversos métodos tecnológicos para la remoción de materia orgánica y de sólidos suspendidos contenidos en las aguas residuales de todo tipo. Más Recientemente, se han incorporado procesos tendientes a mejorar la remoción de nitrógeno (N) y fósforo (P) como tratamiento terciario pero de alto costo. Por otro lado a partir de los principios de los años ochenta se ha acentuado de manera notable la contaminación de los distintos cuerpos de agua a nivel mundial como nacional. Uno de los más grandes problemas que aquejan a estos ecosistemas son las descargas de aguas provenientes de los asentamientos humanos, actividades agrícolas y acuícolas. El principal inconveniente, es que estos aportes impactan negativamente áreas caracterizadas por una mayor vulnerabilidad (Páez-Osuna *et al.*, 1999). Los efluentes provenientes de estos sectores generan un impacto que depende de varios factores: a) la magnitud de la descarga, b) la composición química de los efluentes con concentraciones relativamente altas de nutrientes, materia orgánica y sólidos suspendidos, c) la característica del cuerpo receptor, ya que cambia el tiempo de residencia del agua, el rango de dilución y la calidad del agua que trae consigo una cantidad elevada de nutrientes encabezados principalmente por nitrógeno y fosforo alterando los procesos naturales de estos ambientes desencadenando problemas ecológicos como la eutrofización que afecta una gran diversidad de organismos.

Debido a sus consecuencias se ha prestado mayor atención a la alteración de los ecosistemas acuáticos producto de estos efluentes. A pesar de que la regulación de la calidad de los desechos provenientes de estas actividades es cada vez más rigurosa, la industria necesita aún tomar conciencia de los efectos que la contaminación genera sobre los ecosistemas aledaños e implementar métodos para prevenir esta degradación (FAO, 2006).

Sin embargo en las últimas tres décadas, se han observado avances importantes en el diseño y manejo de los sistemas cerrados de recirculación de agua utilizados en la producción de organismos acuáticos, debido a que cada

día aumenta la demanda por proteínas de origen animal y el grado de conciencia sobre lo frágil y limitado de los recursos acuáticos en el mundo.

Si bien es cierto, no existe solución única ni sencilla para el manejo de los efluentes o las cargas de aguas enriquecidas con nutrientes. En la actualidad se han buscado alternativas o métodos que permitan de alguna u otra forma disminuir tales cargas, algunos de ellos son el uso de las lagunas de oxidación (De Walt *et al.*, 2002) o los estanques de sedimentación, aunque no son muy costosos, han mostrado una reducida efectividad.

Otra alternativa menos agresiva visualmente, económica y ecológicamente, es el uso de macrófitas acuáticas (fitoremediación) como humedales seminaturales, aunque aún en fase experimental ó piloto han mostrado resultados experimentales muy prometedores (Wong *et al.*, 1997a; Gautier, 2002; Gautier *et al.*, 2001). Su aplicación está sometida aún a diversas dudas de índole práctico que dificultan su uso generalizado como una herramienta del control de la contaminación de los efluentes de bajo costo.

El uso de macrófitas como humedales seminaturales es un sistema de tratamiento biológico de baja tecnología diseñados para depurar aguas residuales domésticas y, con mayor frecuencia, para eliminar residuos procedentes del sector agropecuario.

Sin embargo ya existe información relativa al diseño, aplicación y mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas basados en humedales seminaturales de agua dulce (Hammer, 1989). En contraste, no son tan abundantes los estudios de sistemas de tratamiento de aguas que incluyan vegetación de agua estuarina o marina (Tilley *et al.*, 2002). La mayor parte de la información existente procede de estudios realizados en humedales costeros herbáceos como *Phragmites spp*, *Typha angustifolia*, *Typha latifolia* (Klomjek and Nitisoravut, 2005; Wu *et al.*, 2008a) y son escasos los ensayos en los que se usa al manglar y menos aún, en aquellos en los que se tratan efluentes procedentes del cultivo de organismos acuáticos.

De manera que los trabajos existentes para las regiones tropicales donde se han incluido plantas de manglar con la finalidad de remover nutrientes, ofrecen resultados sumamente convincentes que demuestran su eficacia en procesos de remoción de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y ortofosfatos, algunos

ejemplos de ellos son los estudios realizados por Ye *et al.*, 2001 con porcentajes de remoción de 90% nitrógeno inorgánico disuelto (NID), y 83% ortofosfatos, Tilley *et al.*, 2002 (85% NID, 31% ortofosfatos), Wu *et al.*, 2008 (82 % NID y 97 % ortofosfatos), Naido, 2009 (60 % NID y 50 % ortofosfatos) y Moroyoqui Rojo, 2011 (NID 80.9 % y 42.4 % ortofosfatos).

Por lo anterior el presente trabajo pretendió diseñar un sistema experimental cerrado con agua de mar sin recirculación, integrando plantas de mangle de forma hidropónica con la finalidad de utilizarlas como filtro biológico y lograr remover la concentración de nutrientes dentro del sistema.

Para determinar la remoción de nutrientes se integraron al sistema cerrado peces “puyequés” *Dormitator latifrons*, simulando un cultivo, con el objetivo de enriquecer de nutrientes el agua del sistema a través de sus excretas y del resto de alimento balanceado no consumido por los mismos, y con esto evaluar la función de las plantas de mangle como agente depurador de nutrientes.

Sin embargo *D. latifrons* es una especie poco conocida por su bajo o nulo valor en el mercado. Se sabe que pertenecen a la familia Eleotridae y que son omnívoros (Miller, 1966). Se distribuye en regiones tropicales, abarcando desde el Golfo de California hasta Perú (Amezcuca-Linares, 1977; Ancieta y Landa, 1977; Miller, 1966; Castello, 1988).

Su principal característica es la resistencia fisiológica que presentan a condiciones adversas para sobrevivir en ambientes eutrificados, con variaciones notables de oxígeno, salinidad y temperatura, condición que nos permitió y facilitó incluirlo dentro de nuestro trabajo.

Son pocos los trabajos que han sido publicado acerca de estos peces, y los que existen se enfocan a describir su biología y ecología, solamente se han realizado escasos ensayos de su comportamiento en cultivo (Larumbe, 2002), (Castro Rivera *et al.*, 2005) donde ha monitoreado su longitud y peso.

De manera colateral a la remoción de nutrientes en el presente estudio se monitoreo el crecimiento en longitud y peso y las tasas de crecimiento de estos organismos dentro del sistema cerrado con y sin plantas de mangle con la finalidad de entender más su comportamiento en cautiverio.

## **2. HIPÓTESIS**

El uso de plantas de mangle de forma hidropónica como sistema de fitorremediación permite remover significativamente la concentración de nutrientes del agua de mar en un sistema cerrado con peces “puyequé” enriquecido de nutrientes debido a las excretas y el resto de alimento balanceado no consumido por los peces.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la remoción de nutrientes del agua utilizando tres diferentes especies de mangle en un sistema cerrado con “puyequés” enriquecido de nutrientes debido a las excretas y al resto de alimento balanceado no consumido por los peces.

### **3.2. Objetivos específicos**

1-Determinar la remoción de nutrientes con mangle rojo, mangle blanco y mangle negro en un sistema de cultivo cerrado con peces “puyequés”.

2-Determinar el crecimiento en altura y raíz de mangle rojo, mangle blanco y mangle negro en un sistema cerrado con peces “puyequé”.

3- Estimar la relación longitud-peso y las tasas de crecimiento de los peces “puyequés” en un sistema cerrado con y sin plantas de mangle.



#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán, localizado al sur del estado de Sinaloa, en el puerto de Mazatlán, (23° 09'00" a 23° 13'00" (N) y de 106°20'00" a 106°25'00" (W). Dentro del instituto fue proporcionado un espacio de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>, el cual se acondiciono para el desarrollo de los experimentos.

#### 5. METODOLOGÍA

##### 5.1. Colecta de semillas y germinación

Durante agosto y septiembre del 2010, se colectaron hipocótilos de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y propágulos de *Avicenia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia recemosa* (mangle blanco), en el sistema lagunar de Urías (23° 13' y 23° 11' N y 106° 23' y 106° 21' W), que se encuentra en Mazatlán, Sinaloa México. En esta región los bosques de manglar comienzan a florecer y dar sus respectivos frutos o semillas durante la temporada de lluvias. El traslado al sistema lagunar de Urías fue a través de una embarcación con motor fuera de borda. Las semillas fueron colectadas de forma manual y se colocaron en una cubeta con agua. Una vez terminada la colecta de semillas de las diferentes especies de manglar se llevaron al Laboratorio de Ecosistemas Costeros de la UNAM, Unidad Académica Mazatlán, donde fueron depositados en unos estanque circulares con agua durante aproximadamente 20 días para el crecimiento y desarrollo de su sistema radicular. Posteriormente las tres especies fueron sembradas de forma independiente en charolas de poliuretano (68 x 34 cm) para su germinación, utilizando como sustrato una mezcla de turba canadiense, dolomita y vermiculita (marca SUNSHINE No 3) con cargas bajas de fertilizantes para proteger las plantas de semilleros y así asegurar una máxima supervivencia, una vez las plántulas sembradas en los semilleros de poliuretano se colocaron durante 19 meses en estanques circulares de 8000 L en agua dulce de forma hidropónica de para un mayor desarrollo del sistema radicular.

A partir de esta siembra se seleccionaron las 40 plantas de mangle por especie al azar, que se requirieron para el inicio de los experimentos, estas plantas fueron resembradas en tubos de pvc de 4 pulgadas con una altura de 30 cm con las características del mismo sustrato antes descrito. Previamente a ser utilizadas para el experimento, las 40 plantas por especies fueron colocadas en estanques rotoplas de 450 l, donde poco a poco se les fue aumentando la salinidad hasta llegar a mantenerlas a 35 UPS.

## 5.2. Sistemas cerrados

Se instalaron y acondicionaron seis estanques circulares de plástico (0.76 m x 3.66 m Ø) con un volumen total de 8000 litros, llenando aproximadamente 6000 litros para el experimento. En los cuales en tres se colocaron plantas de mangle, uno con *Rhizophora mangle* (mangle rojo), otro con *Avicenia germinans* (mangle negro) y el otro con *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) en condiciones hidropónicas y el resto de los estanques sin plantas (controles), únicamente con los tubos de pvc con las mismas condiciones de sustrato. Los estanques que con plantas de mangle estuvieron constituidos por 40 de ellas, una especie por estanque. Las plantas se suspendieron sobre una base de madera dentro de los estanques, esta base de madera, se perforo con el objetivo de depositar las plantas previamente sembradas en tubos de pvc de 4 pulgadas con una altura de 30 cm, es decir los tubos de pvc con plantas permanecieron flotando sobre la base de madera, por lo tanto las raíces de las plantas quedaban cubiertas por el agua.

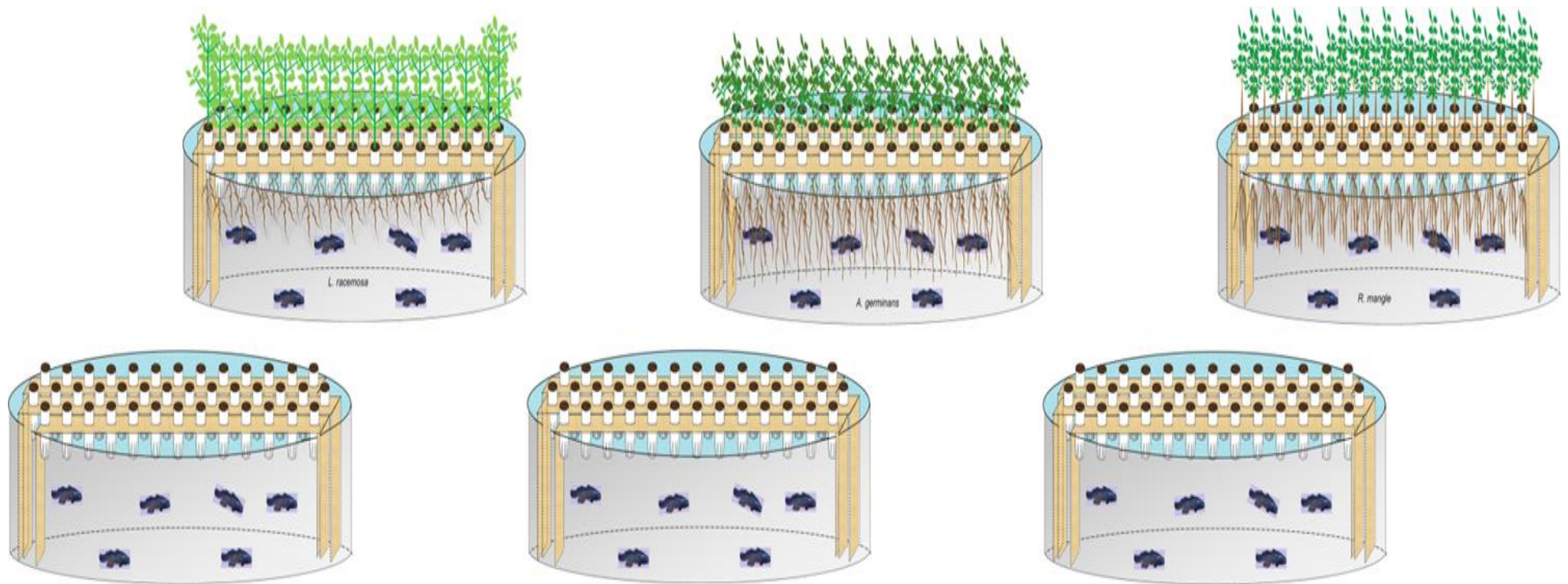


Figura 1. Esquema representativo de los sistemas cerrados con plantas de mangle y sin plantas (controles).

Para llevar a cabo este experimento se requirió de agua de mar a 35 ups, la cual se obtuvo por medio de un pozo intermareal localizado a la orilla del mar y cuenta con un sistema de bombeo marca SIEMENS de 4 caballos de fuerza, se utilizó manguera transparente de plástico de 1 ½ pulgadas, de 35 m de longitud que se conectó a la bomba y a partir de esto se bombeo agua de mar a cada uno de los estanques para dar inicio con los experimentos.

Para el acondicionamiento de los estanques experimentales también se requirió de la utilización de aireación, a través de un aireador (blower) de 1 hp el cual brinda aireación a todos los estanques mediante conexiones de tubos de PVC. De la misma manera todos los estanques fueron cubiertos con malla sombra con un índice de atenuación del 60%.

### 5.3. Toma de muestras

La toma de muestras se llevó a cabo cada siete días en cada uno de los estanques, para lo cual se utilizaron botellas de plástico de 125 ml., previamente etiquetadas, una vez tomadas las muestras se filtraron inmediatamente con un sistema portátil de filtración utilizando filtros GF/C con diámetro de poro de 45  $\mu\text{m}$ . El monitoreo de la calidad del agua se realizó analizando cuatro tipos de nutrientes: nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Todos los análisis se hicieron por triplicado y se realizaron inmediatamente después de que las muestras fueron tomadas.

### 5.4. Determinación de nutrientes y porcentaje de remoción de nutrientes

La determinación de nutrientes se efectuó en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera UNAM, Unidad Académica Mazatlán. La determinación y lecturas de los nutrientes, se llevó a cabo a diferente longitud de onda por medio de un espectrofotómetro marca ANACHEM, modelo 220 y 320. Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), se efectuaron mediante el método de Morris y Riley (1963) con algunas modificaciones por Grasso (1964), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), se obtuvieron por el método de Bendschneider y Robinson (1952) y estos dos fueron leídos a una longitud de onda de 543 nm. Para el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), se utilizó el método del fenol-hipoclorito por Riley (1953) con algunas modificaciones descritas por

Solórzano (1962), la longitud de onda para la medición de este nutriente fue de 640 nm.

El Nitrógeno Inorgánico Disuelto, incluye a los tres principales compuestos de nitrogenados inorgánicos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ); con esto se obtiene un mejor manejo y análisis de los datos, realizando la sumatoria de las tres formas nitrogenadas y se conocen con la siglas de NID. Los Ortofosfatos ( $\text{PO}_4^-$ ) se determinaran según lo descrito por Murphy y Riley (1962), leído en 690 nm. Todas las técnicas serán desarrolladas según lo recomendado por Strickland y Parsons (1972) para cada caso.

Para evaluar el porcentaje de remoción de nutrientes (RN %), se empleó la relación propuesta por Paniagua y García (2003):

$$\text{RN (\%)} = (\text{Concentración del estanque control} - \text{Concentración del estanque experimental} / \text{Concentración del estanque control}) \times 100$$

Donde:

El estanque control es el estanque sin plantas de manglar.

El estanque experimental es el estanque con plantas de manglar.

### 5.5. Crecimiento de las plantas de mangle

Se llevó un monitoreo mensual de crecimiento en altura y raíz de las plantas de mangle que fue desde su obtención como semilla hasta el inicio y final del experimento. Las plantas que se utilizaron para dar inicio al presente estudio tenían una edad de un año con siete meses con una determinada altura y longitud de raíz. A partir de esta edad se incorporaron a los sistemas cerrados con peces para dar inicio con el experimento. El monitoreo del crecimiento de las plantas de mangle ya en los sistemas cerrados se realizó mensualmente tomando en cuenta la altura de la planta y la longitud de la raíz (previamente ya monitoreadas), con la ayuda de una regla flexible de 1 m de largo. Para *Rhizophora mangle* (mangle rojo), la altura se tomó desde el primer anillo de crecimiento hasta la parte apical del tallo principal y la longitud de la raíz se tomó a partir de la parte basal del tallo hasta donde se encuentra la parte final de la raíz, para *Avicenia germinans* (mangle negro), la altura se registró a partir

de la base del tallo hasta la parte apical del tallo principal en cuanto a la raíz se realizó de la misma forma que el mangle rojo, mientras que para *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), su altura se tomó de la misma forma que el mangle negro y la longitud de la raíz se midió igual que las dos anteriores. Para determinar el crecimiento en altura y raíz de las plantas de mangle se emplearon regresiones lineales.

#### 5.5.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle

Para la determinación de biomasa se tomaron 5 plantas de mangle por especie en cada uno de los estanques. Dicho número de plantas cubrían 1.25 m<sup>2</sup> del total de la superficie cubierta por plantas dentro de los estanques. Las plantas fueron separadas en raíz y follaje para ser pesadas (peso húmedo). Posteriormente fueron colocadas en una estufa a 70 °C durante cuatro días con el objetivo de obtener el peso seco de las mismas. Una vez obtenido el peso seco individual por planta se sumaron las 5 utilizadas por especie con la finalidad de conocer la biomasa en 1.25 m<sup>2</sup>, una vez obtenida la biomasa en el área anterior por especie en cada uno de los estanques, se extrapolo al total del área cubierta por las plantas en cada uno de los estanques.

#### 5.6. Captura y transporte de los peces

Se colectaron aproximadamente 550 organismos juveniles de *D. latifrons*, en el Estero de Urías (Mazatlán, Sinaloa), usando como arte de pesca una atarraya. Los organismos colectados se transportados en jivas de 30 y 70 litros de capacidad. Se colocaron provisionalmente en estanques de cemento dentro del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Unidad Académica Mazatlán) para ser aclimatados a las condiciones de los estanques donde se realizó el experimento (salinidad de 35 ups) este proceso de aclimatación duro aproximadamente una semana. Una vez aclimatados los organismos se confinaron a los estanques circulares con plantas y sin plantas de mangle.

##### 5.6.1. Siembra

Se tomó la longitud total inicial y el peso inicial de los peces con un lctiómetro de 40 cm y una balanza digital (Ohaus GT 4800 con 0.01 g de precisión) respectivamente, antes de ser depositados en los estanques circulares.

En todos los estanques se depositaron la misma cantidad de peces (60 organismos/estanque, con características similares de peso y talla).

### 5.6.2. Alimentación y ración alimentaria

Se alimentó diariamente con producto comercial de la marca nutripec cuyo contenido de proteína es del 35 %, durante dos veces al día mañana y tarde (08:00 a.m. y 18:00 p.m.). En cada uno de los estanques se proporcionó el mismo tipo y cantidad de alimento, el cual fue previamente pesado antes de ser suministrado. La ración alimenticia que se manejo fue del 3% al 7% de la biomasa total (Angel Pérez, 2012), este porcentaje se ajustó cada mes después de tomar las biometrías y observar el comportamiento de los organismos respecto al consumo del alimento.

### 5.6.3. Biometrías de peces

Mensualmente se registraron los datos biométricos de longitud total y el peso de los organismos, con un Ictiómetro de 40 cm y una balanza digital (Ohaus GT 4800 con 0.01 g de precisión) respectivamente.

### 5.7. Variables físico-químicas

El monitoreo de las variables físico-químicas (Tabla 1) se llevó a cabo diariamente durante dos veces al día para algunas de ellas, en otras solamente una vez por semana.

Tabla 1. Frecuencia y monitoreo de las variables físico-químicas durante el ciclo de experimento.

Variable	Hora	Frecuencia
Oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ )	2 veces al día (08:00 y 18:00)	Diariamente
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	2 veces al día (08:00 y 18:00)	Diariamente
pH	2 veces al día (08:00 y 18:00)	Diariamente
Salinidad (ups)	Una vez al día	Semanalmente

Para determinar las variables antes mencionadas se utilizaron diferentes equipos. Para el oxígeno disuelto y temperatura se requirió de un oxímetro de la marca HANNA HI 9146, para el pH se dispuso de un potenciómetro combo

HANNA (HI 98129) y la salinidad se mido mediante un refractómetro portátil de campo marca ATAGO, modelo 80-124.

#### 5.8. Análisis de datos

En cuanto a la concentración de nutrientes (amonio, nitrito, nitratos y ortofosfatos) se empleó un análisis de varianza no paramétrico, a través de la prueba de U de Mann Whitney, posteriormente se aplicó un análisis de Kruskal-Wallis (Zar, 1996).

En el caso de las plantas de mangle se realizaron regresiones lineales para observar el crecimiento en altura y raíz, asimismo se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA).

Para los peces, con el objetivo de conocer si existían diferencias significativas en las tasas de crecimiento, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA).

La relación longitud-peso se estableció por el método de mínimos cuadrados a través de la ecuación:

$$Pt = aLt^b$$

Donde:

P= peso

LT= longitud total en cm

b = pendiente de la relación y coeficiente de alometría

a= ordenada al origen y factor de condición (Ricker, 1975)

Para determinar si el coeficiente de alometria “b” es diferente del valor de tres que identifica el crecimiento isométrico en peso, se aplicó una prueba de “t” utilizando el valor de “b” y el de la desviación estándar del parámetro. Estos cálculos se realizaron a través de la fórmula:

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$



Donde:

x= valor obtenido

$\bar{x} = 3$

$\sigma$ = desviación estándar del parámetro y gl = n-2

El valor calculado se compara con el de las tablas y dependiendo de su valor se acepta o rechaza la hipótesis nula, la cual establece que el valor de “b” es estadísticamente igual o diferente de tres.

Con los datos de longitud total y pesos promedios se calcularon la tasa de crecimiento absoluto (TCA) y la tasa de crecimiento específico (TCE) a través de las siguientes formulas:

Tasa de crecimiento absoluto

$$TCA = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

$W_2$  = Peso promedio al final del periodo

$W_1$  = Peso promedio al inicio del periodo

$t_2$  = Tiempo final en días del periodo

$t_1$  = Tiempo inicial en días del periodo

Tasa de crecimiento específico

$$TCE = \frac{(\ln W_f - \ln W_i)}{t} (100)$$

Donde:

$W_f$  = Logaritmo natural del peso promedio al final del periodo

$W_i$  = Logaritmo natural del peso promedio al inicio del periodo

t = Tiempo en días

Los análisis se realizaron con la ayuda del programa STATISTIC y en hojas de cálculo de Excel 2010.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Concentración de nutrientes

Particularmente para el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), (Figura 2), en los estanques con plantas de mangle la concentración promedio mínima fue de  $0.01 \mu\text{M}$  y la máxima fue de  $21.49 \mu\text{M}$ , mientras que en los controles fue de  $0.01 \mu\text{M}$  y  $31.9 \mu\text{M}$  respectivamente.

Al igual que para el amonio se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la concentración del resto de los nutrientes ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{-3}$ ) analizados entre los estanques con plantas de mangle y los controles, obteniendo en los controles las mayores concentraciones. Sin embargo al comparar la concentración de nutrientes entre los estanques con las tres diferentes especies de mangle (*R. mangle*, *A. germinans* y *L. recemosa*) no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre ellas.

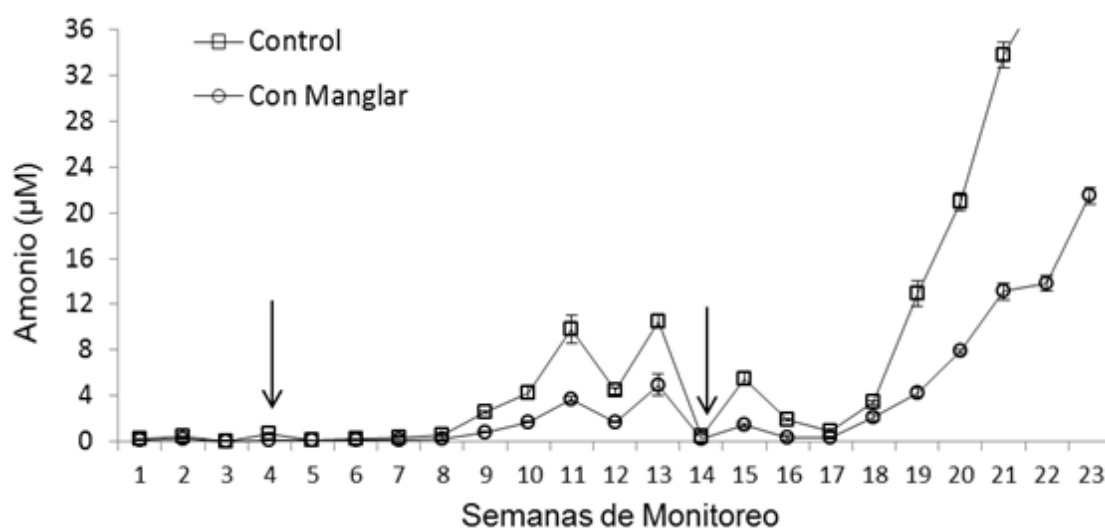


Figura 2. Concentración promedio de amonio. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da ↓ indica recambio total de agua.

En lo que respecta al nitrito (Figura 3), La concentración promedio mínima y máxima en los estanques con manglar fue de  $0.17 \mu\text{M}$  y  $8.76 \mu\text{M}$  respectivamente, mientras que en los controles fue  $0.2$  a  $19.29 \mu\text{M}$  respectivamente.

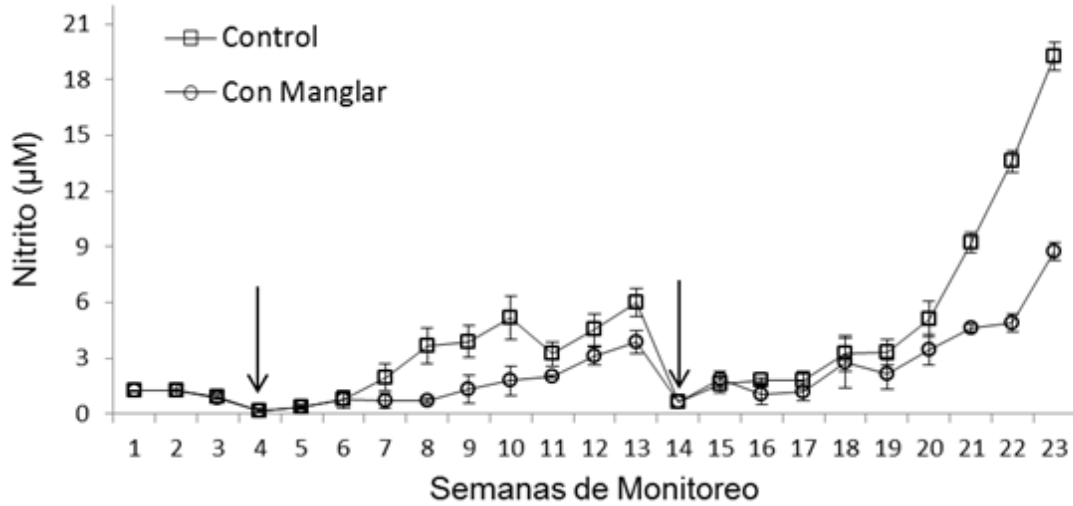


Figura 3. Concentración promedio de nitrito. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da ↓ indica recambio total de agua.

Para el nitrato (Figura 4) al igual que los dos nutrientes anteriores las concentraciones más bajas fueron encontradas en el estanque con plantas. Se obtuvo un valor mínimo promedio de 0.15 µM y un máximo de 21.6 µM en los estanques con manglar y en los estanques controles se encontró un valor mínimo promedio de 0.31 µM y un máximo de 38.44 µM.

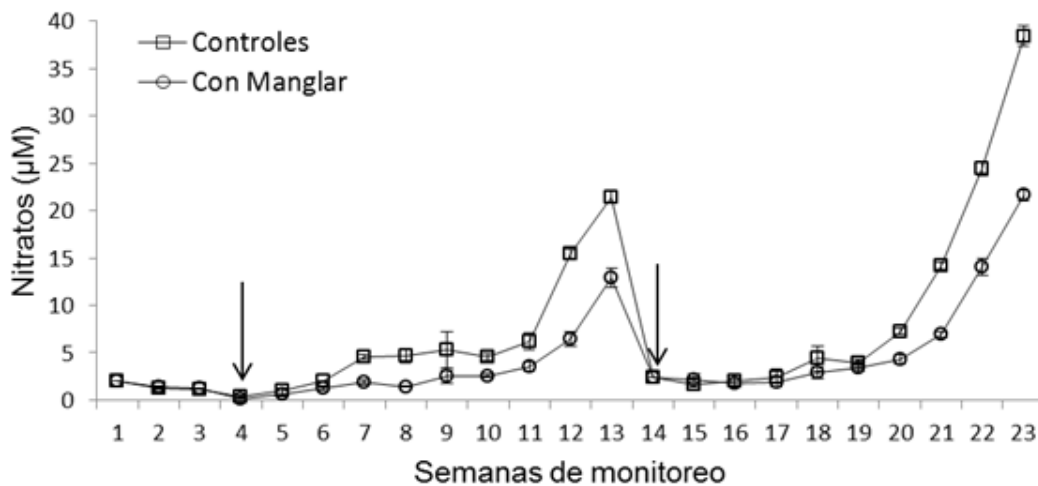


Figura 4. Concentración promedio de nitrato. 1er ↓ indica semana en la cual se comenzó agregar alimento, 2da ↓ indica recambio total de agua.

En cuanto a la concentración de ortofosfatos (Figura 5) se observó un comportamiento similar a lo descrito anteriormente ya que las concentraciones menores se obtuvieron en los estanques con manglar con un valor mínimo promedio de 0.1  $\mu\text{M}$  y un máximo de 3.87  $\mu\text{M}$  mientras que en los controles el valor mínimo fue de 0.13  $\mu\text{M}$  y un máximo de 6.43  $\mu\text{M}$ .

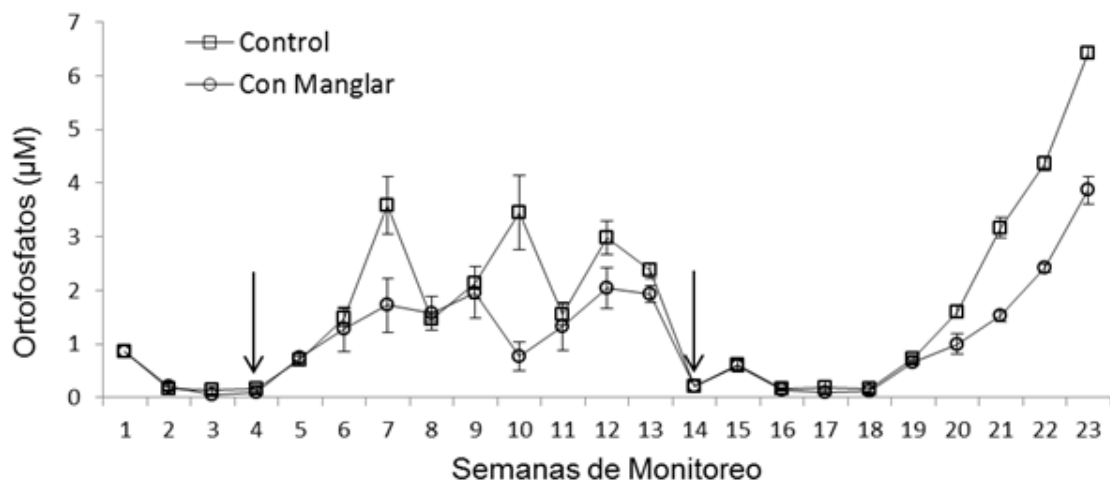


Figura 5. Concentración promedio de ortofosfatos. 1er  $\downarrow$  indica semana en la cual se comenzó agregar alimento. 2da  $\downarrow$  indica recambio total de agua.

### 6.1.2 Porcentajes de remoción de nutrientes

En cuanto al porcentaje de remoción de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y de ortofosfatos (Tabla 2), se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), entre los estanques con manglar y los controles, sin embargo al comparar los porcentajes de remoción de NID y de ortofosfatos entre los estanques con plantas de mangle no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

Tabla 2. Porcentajes promedio de remoción de NID y  $\text{PO}_4^{-3}$  de las tres diferentes especies de mangle y controles durante el ciclo de experimento.

Especie	Con manglar		Controles	
	Remoción (%)		Remoción (%)	
	NID	$\text{PO}_4^{-3}$	NID	$\text{PO}_4^{-3}$
<i>Rhizophora mangle</i>	55	34	27	23
<i>Avicenia germinans</i>	53	38	30	30
<i>Laguncularia racemosa</i>	54	37	28	29

## 6.2. Crecimiento de las plantas de mangle

Al inicio del experimento la altura de *Rhizophora mangle* fue 29.32 cm y la longitud de raíz fue 32.15 cm. Al final del experimento su altura fue de 35.88 cm y 41.97 cm de sistema radicular. Para *Avicenia germinans* la altura inicial fue de 23.69 cm y 61 cm de raíz, al finalizar el experimento alcanzo una altura de 38,45 cm y 81 cm de raíz, mientras que para *Laguncularia racemosa* su altura inicial fue 37.23 cm y 48.36 cm de raíz y al finalizar el trabajo alcanzo una altura de 62.4 cm y 64.5 de raíz.

De acuerdo a los valores obtenidos de altura de las plantas (Figura 6) existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de esta variable entre las tres especies de mangle, se encontró que *R. mangle* creció aproximadamente  $1.54 \text{ cm mes}^{-1}$ , mientras que *A germinans*  $1.41 \text{ cm mes}^{-1}$  y *L. racemosa*  $2.10 \text{ cm mes}^{-1}$ .

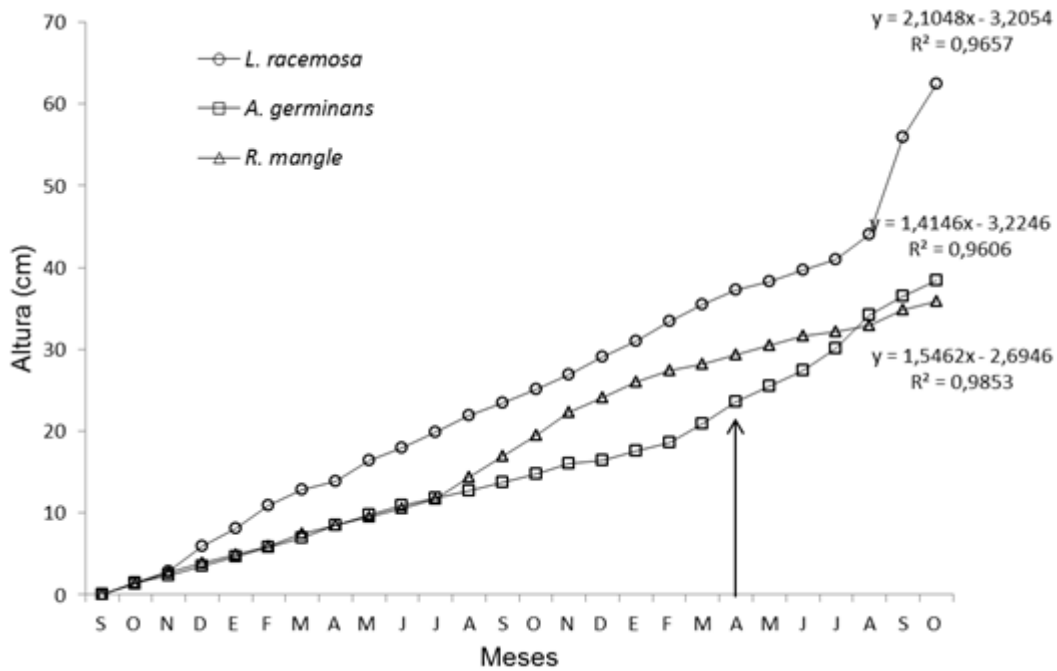


Figura 6. Crecimiento en altura de las tres especies de mangle. La flecha indica el mes en el cual fueron incorporadas al experimento.

De la misma manera se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la longitud de raíz (Figura 7) entre las tres especies, *R. mangle* presento un desarrollo del sistema radicular de  $1.69 \text{ cm mes}^{-1}$ , *A. germinans*  $3.25 \text{ cm mes}^{-1}$  y *L. racemosa*  $2.54 \text{ cm mes}^{-1}$ .

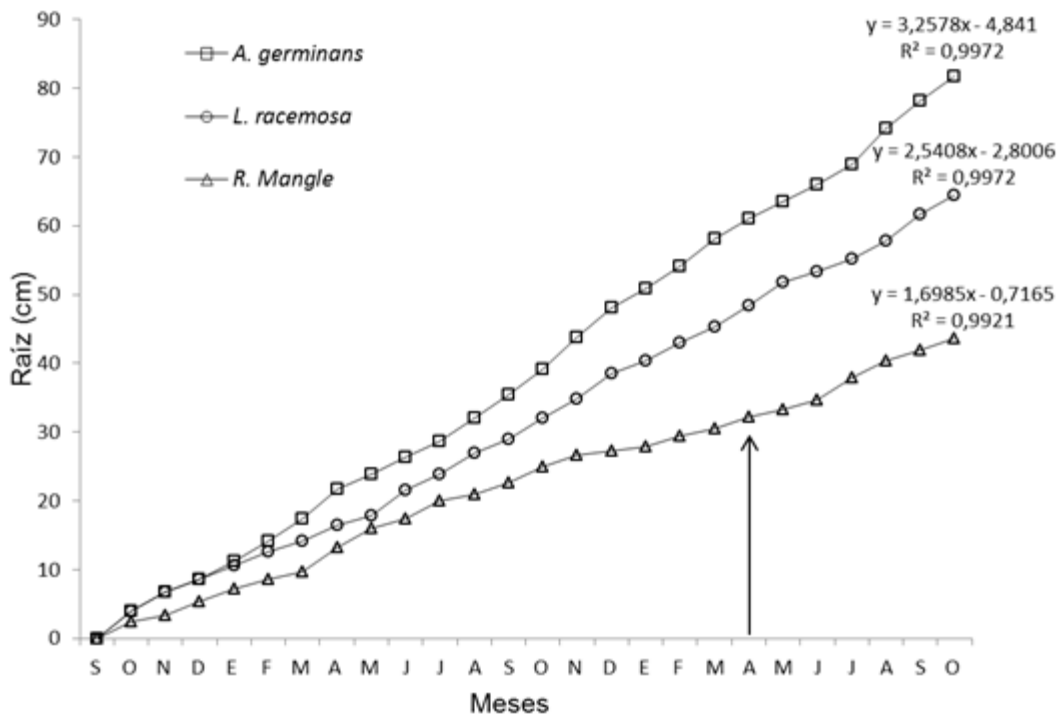


Figura 7. Crecimiento de raíz de las tres especies de mangle. La flecha indica el mes en el cual fueron incorporadas al experimento.

### 6.2.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle

El peso seco total (raíz y follaje) de *R. mangle* fue de 298.22 gr en una superficie de aproximadamente 2.18 m<sup>2</sup>, para *A. germinans* se obtuvo un peso seco total de 233.70 gr y para *L. racemosa* fue de 980.13 gr en una superficie igual a la de la primera. Al comparar los valores obtenidos entre *R. mangle* y *A. germinans* no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en la cantidad de biomasa, sin embargo al comparar lo encontrado en *L. racemosa* con las dos especies anteriores existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

### 6.3. Relación longitud-peso de los peces en los estanques con manglar y controles

Se depositaron la misma cantidad de juveniles de *D. latifrons* en los estanques con manglar y sin manglar (controles), sin encontrar diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre la longitud y peso de siembra (Tabla 3).

Tabla 3. Longitud total (cm) y peso (gr) promedios de siembra de *Dormitator latifrons* en los estanques con manglar y controles.

	Longitud total (cm)	Peso (g)
Con Manglar	11.11 ± 0.23	16.98 ± 0.90
Controles	11.04 ± 0.25	16.20 ± 0.88

La ecuación obtenida de la relación longitud-peso para los peces que se encontraban en los estanques con plantas de manglar al finalizar experimento fue  $P = 0.0429L_t^{2.4734}$  con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.9759$  (Figura 8). Mediante una prueba de t se obtuvo que el valor de “b” es estadísticamente distinto de 3 ( $P < 0.05$ ), por ello se determinó que el tipo de crecimiento de *D. latifrons* en los estanques con manglar es alométrico negativo (no es proporcional el peso a la longitud).

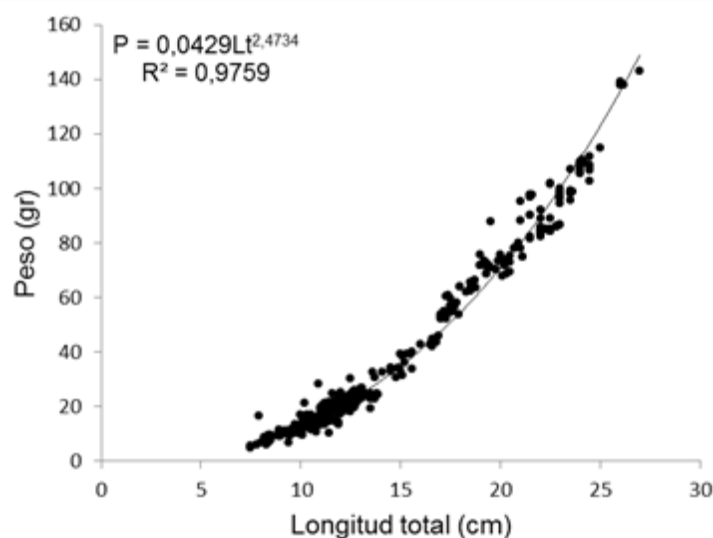


Figura 8. Relación longitud total-peso de *Dormitator latifrons* correspondiente a los estanques con plantas de manglar.



Respecto a la relación longitud-peso de los peces que se colocaron en los controles se obtuvo la siguiente ecuación  $P = 0,0371Lt^{2,5202}$  con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,9816$  (Figura 9). De la misma manera se realizó una prueba de t donde se encontró que el valor de “b” es estadísticamente distinto a 3 ( $P < 0,05$ ) por lo tanto los peces que se depositaron en los controles al igual que los que se colocaron en los estanques con manglar presentaron un crecimiento de tipo alométrico negativo.

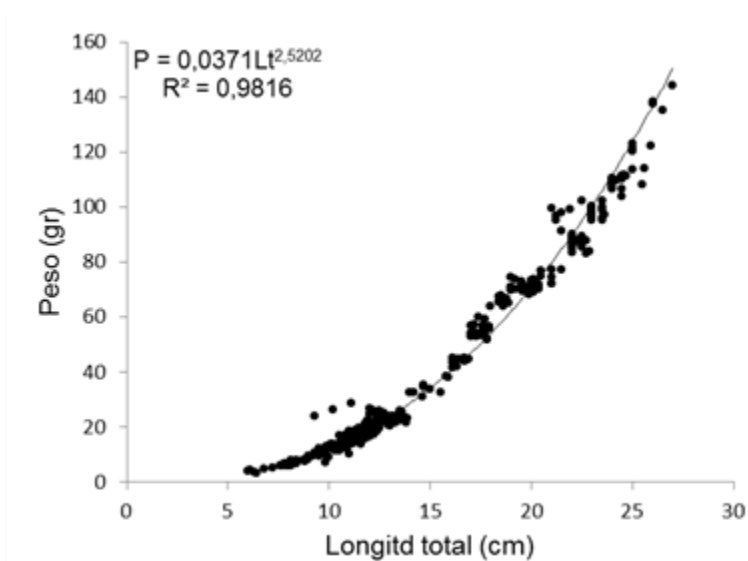


Figura 9. Relación longitud total-peso de *Dormitator latifrons* correspondiente a los controles.

### 6.3.1 Tasa de crecimiento absoluto

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) entre las tasas de crecimiento absoluto de los peces que se depositaron en los estanques con plantas de mangle y los controles, debido a que la tasa de crecimiento absoluto obtenida para los organismos de ambos tratamientos fue la misma con un valor de  $0.19 \text{ g día}^{-1}$ .

### 6.3.2. Tasa de crecimiento específico

La tasa de crecimiento específico lograda para los organismos que se colocaron en los estanques con manglar fue de  $0.66 \text{ \% día}^{-1}$ , mientras que para los organismos colocados en los controles fue de  $0.67 \text{ \% día}^{-1}$ .

Al comparar las tasas de crecimiento específico entre los tratamientos no fueron significativamente distintas ( $P>0.05$ ).

#### 6.4. Variables físico-químicas ( $O_2$ disuelto, temperatura, pH y salinidad)

La tabla 4 muestra los valores promedios de oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad en los estanques con manglar y controles registrados durante el experimento a dos horas diferentes del día (08:00 y 18:00). Excepto la salinidad que se monitorea solamente una vez al día semanalmente.

Tabla 4. Promedio de los valores de las variables físico-químicas medidas diariamente en los estanques con manglar y controles a dos horas diferente del día (08:00 y 18:00).

Variable	Con manglar		Control	
	08:00	18:00	08:00	18:00
$O_2$ disuelto ( $mg L^{-1}$ )	4.93	6.54	4.98	6.59
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	27.3	29.2	27.2	29.4
pH	7.7	8.0	7.7	8.0
Salinidad (ups)	31		31	

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Concentración y porcentajes de remoción de nutrientes

Durante el ciclo de experimento los compuestos inorgánicos del nitrógeno y el fósforo variaron significativamente en los estanques experimentales. Las menores concentraciones de nutrientes disueltos se obtuvieron en los estanques con plantas de mangle respecto a los controles (estanques sin plantas).

El amonio fue uno de los nutrientes que en mayor concentración se obtuvo, debido principalmente a la excreción a través de branquias de los peces, desechos metabólicos y descomposición microbiana de excretas y resto de alimento no consumido Frías *et al.*, (2001). Las concentraciones promedio mínima y máxima para este compuesto en los estanques con plantas de mangle fueron de 0.01  $\mu\text{M}$  y 21.49  $\mu\text{M}$  respectivamente, mientras que en los estanques controles fueron de 0.01  $\mu\text{M}$  y 31.9  $\mu\text{M}$ .

En lo que respecta a otros autores que han realizado trabajos similares para las regiones tropicales donde integran organismos acuáticos y plantas de mangle con el objetivo de monitorear la concentración de nutrientes, Moroyoqui Rojo (2011), obtuvo concentraciones promedio mínimas de amonio de 6 a 8.5  $\mu\text{M}$  en estanques con plantas de mangle, mientras que en los controles encontró concentraciones de 21  $\mu\text{M}$  de este nutriente.

Para el nitrito las concentraciones promedio mínimas y máximas obtenidas en los estanques con manglar fueron 0.17  $\mu\text{M}$  y 8.76  $\mu\text{M}$  respectivamente, mientras que en los controles fueron de 0.2 y 19.29  $\mu\text{M}$ , lo cual difiere con lo reportado por Moroyoqui Rojo (2011), quien obtuvo concentraciones menores que fueron de 3.4  $\mu\text{M}$  en los estanques con manglar y de 6.5  $\mu\text{M}$  en el estanque control.

En cuanto al nitrato en el presente estudio el valor mínimo promedio obtenido en los estanques con plantas de mangle fue de 0.15  $\mu\text{M}$  y un máximo de 21.6  $\mu\text{M}$ , mientras que en los controles se encontró un valor mínimo promedio de 0.31  $\mu\text{M}$  y un máximo de 38.44  $\mu\text{M}$ . Esto se encuentra por encima de lo señalado por Araneda *et al.*, (2008) y Moroyoqui Rojo (2011), los cuales obtuvieron concentraciones de 4.0 y 4.6  $\mu\text{M}$  en los estanques con plantas de

mangle y concentraciones de 15.5  $\mu\text{M}$  y 17  $\mu\text{M}$  en los controles respectivamente.

Por otra parte para ortofosfatos, Ye *et al.*, (2001) mencionan que este nutriente es marcadamente más bajo respecto a las formas nitrogenadas en cultivos de organismos acuáticos, lo cual coincide con lo encontrado en nuestro estudio, debido a que fue el nutriente que en menor concentración se obtuvo. En los estanques con manglar el valor mínimo promedio fue de 0.1  $\mu\text{M}$  y un máximo de 3.87  $\mu\text{M}$  mientras que en los controles el valor mínimo fue de 0.13  $\mu\text{M}$  y un máximo de 6.43  $\mu\text{M}$ . Estas concentraciones se asemejan a lo mencionando por Quevedo Pacheco (2008) y Moroyoqui Rojo (2011) quienes obtuvieron concentraciones menores en los estanques con manglar (3.07  $\mu\text{M}$  y 3.4  $\mu\text{M}$  respectivamente) y las mayores concentraciones en los estanques control (4  $\mu\text{M}$  y 10  $\mu\text{M}$  respectivamente).

A pesar de que para algunos nutrientes las concentraciones obtenidas en nuestro estudio son mayores o difieren con lo obtenido por otros autores, existe una relación tanto en sus trabajos como el nuestro que se observa en las concentraciones de nutrientes obtenidas en los estanques con manglar, dichas concentraciones son menores a los estanques controles (sin plantas), siendo en nuestro caso hasta dos veces menor la concentración de nutrientes en los estanques con plantas de mangle.

En cuanto a los porcentajes de remoción de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y de ortofosfatos durante el ciclo de experimento fueron similares entre las tres especies de mangle utilizadas. Se estimó que *Rhizophora mangle* removió aproximadamente un 55 % de NID, *Avicenia germinas* un 53 % y *Laguncularia racemosa* un 54 %, sin embargo estos porcentajes difieren con lo señalado por otros autores (Tabla 5) como, Ye *et al.*, (2001), Wu *et al.*, (2008), Quevedo Pacheco (2008), Naidoo (2009) y Moroyoqui Rojo (2011) quienes en sus trabajos en regiones tropicales y en algunos casos con especies iguales de plantas de mangle a las de nuestro trabajo (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) mencionan porcentajes de remoción mayores a los del presente estudio.

Tabla 5. Porcentajes de remoción de nutrientes demostrados en algunos trabajos con diferentes especies de mangle.

Especies	% de remoción		Referencia
	NID	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
<i>K. candel</i> y <i>B. gymnorrhiza</i>	94	92	Ye <i>et al.</i> 2001
<i>Rhizophora mucronata</i>	85	61.1	FFTC, 2005
<i>K. candel</i>	82	97	Wu <i>et al.</i> 2008
<i>Avicenia marina</i>	60	50	Naidoo, 2009
<i>L. racemosa</i> y <i>R. mangle</i>	80.9	42.4	Moroyoqui, 2011
<i>R. mangle</i>	55	33	Presente estudio
<i>A. germinas</i>	53	38	Presente estudio
<i>L. racemosa</i>	54	37	Presente estudio

Los porcentajes de remoción de ortofosfatos en nuestro estudio (Tabla 5) al igual que lo reportado por Ye *et al.*, (2001), Quevedo Pacheco (2008), Naidoo (2009) y Moroyoqui Rojo (2011) fueron inferiores a los porcentajes de remoción del NID, no así con lo mencionado por Wu *et al.*, (2008) quienes reportaron un mayor porcentaje de remoción de este nutriente respecto al NID. Huett *et al.*, (2005), señalan que el uso de macrofitas en procesos de remoción de ortofosfatos no es tan eficiente respecto a la remoción del NID, debido a que los mecanismos que dominan la remoción de ortofosfatos incluyen la naturaleza del sedimento y los procesos de precipitación y adsorción.

Al comparar los porcentajes de remoción de ortofosfatos de nuestro experimento con los trabajos de los autores anteriores se encuentran por debajo de lo reportado por ellos, solamente se asemeja a lo señalado por Moroyoqui Rojo (2011) quien utilizó especies iguales. Sin embargo a pesar de que algunos estudios como los de la FFTC (2005) y Naidoo (2009) utilizaron plantas de mangle del mismo género que las nuestras pero diferente especie, en sus trabajos los porcentajes de remoción difieren, siendo mayores a las del presente.

Estas diferencias en cuanto a los porcentajes de remoción que se observan con los estudios anteriores se atribuyen al tipo y características de experimento que se diseñó, debido a que el diseño de experimento de los autores anteriores estaban caracterizados en algunos casos por el uso de filtros biológicos (camas de arena y grava) como sistema de tratamiento, debido a que el lecho superficial de arena y grava funciona como una zona de fijación de bacterias, en este sitio, las bacterias trabajan sobre los desechos disueltos, el oxígeno y otros requerimientos nutricionales a partir del agua que va fluyendo disminuyendo su concentración (IWA, 2000) , que sumado a los procesos de recambios parciales o totales de agua (tasas de renovación) y densidad de plantas de mangle son factores que contribuyen a una mayor eficiencia de remoción de nutrientes (Chopin *et al.*, 2001).

En nuestro caso particular no existieron recambios de agua periódicos, solamente uno a lo largo del experimento, asimismo no se requirieron de filtros biológicos (camas de arena y grava) ni cualquier otro tipo de sustrato, con el propósito de reducir al mínimo la influencia de lo anterior y poder filtrar más las funciones del sistema radicular asociado a microorganismos de forma hidropónica de las plantas de mangle en los procesos de remoción de nutrientes.

## 7.2. Crecimiento de las plantas de mangle

En cuanto a las tasas de crecimiento de plantas de mangle son pocos los trabajos que se encuentran donde se haya monitoreado su crecimiento en altura y raíz en experimento de remoción de nutrientes de forma hidropónica integrado al cultivo de algún organismo acuático, la mayoría de los estudios que se han realizado con el objetivo de darle seguimiento a estas variables son a nivel de viveros.

Las plantas de mangle utilizadas para este experimento se colocaron con una edad de un año siete meses. Algunos autores como como Ye *et al.*, (2001), Quevedo Pacheco (2008) y Moroyoqui Rojo (2011), han dispuesto de plantas de mangle de un año y medio para los dos primeros y de un año para el tercero, obteniendo resultados satisfactorios.

La tasa de crecimiento en altura que se obtuvo para *R. mangle* en nuestro estudio fue de  $1.54 \text{ cm mes}^{-1}$  semejante a lo reportado por Moroyoqui Rojo (2005) ( $1.02 \text{ cm mes}^{-1}$ ) y Quevedo Pacheco (2008) ( $1.65 \text{ cm mes}^{-1}$ ).

*L. racemosa* presento un crecimiento en altura de  $2.10 \text{ cm mes}^{-1}$ , similar a lo que encontró Moroyoqui Rojo (2011) ( $2.84 \text{ cm mes}^{-1}$ ).

Para *A. germinans* la tasa de crecimiento en altura fue de  $1.41 \text{ cm mes}^{-1}$ , sin embargo, para esta especie no se encontraron trabajos similares al nuestro donde se haya monitoreado esta variable.

En lo que respecta al sistema radicular, la tasa de crecimiento para *R. mangle* fue de  $1.69 \text{ cm mes}^{-1}$ , parecido a lo mencionado por Quevedo Pacheco (2008) ( $1.78 \text{ cm mes}^{-1}$ ), no así con Moroyoqui Rojo (2011), quien encontró una tasa de crecimiento mayor ( $2.84 \text{ cm mes}^{-1}$ ). Para *L. racemosa* la tasa de crecimiento radicular fue de  $2.54 \text{ cm mes}^{-1}$ , siendo menor a lo señalado por Moroyoqui Rojo 2011 ( $3.68 \text{ cm mes}^{-1}$ ) y por ultimo para *A. germinans* fue de  $3.25 \text{ cm mes}^{-1}$ , sin embargo para esta especie en particular al igual que el crecimiento en altura no se encontraron trabajos de esta índole donde se cotejaran nuestros resultados.

Al comparar el crecimiento en altura con respecto al crecimiento del sistema radicular de las tres especies utilizadas en nuestro experimento se observa un comportamiento similar en todas ellas, que se muestra, en un mayor desarrollo radicular con respecto a la altura de las plantas, hecho que coincide con lo reportado por Moroyoqui Rojo (2005), Quevedo Pacheco (2008) y Moroyoqui

Rojo (2011). El ritmo de crecimiento tanto en el altura como en raíz de las plantas depende de numerosos factores, tanto genéticos como nutricionales y ambientales (Grosso *et al.*, 2000). En particular en el presente trabajo *L. racemosa* fue la especie que creció más en altura, sin embargo *A. germinans* fue la planta que presentó un mayor crecimiento de raíz siendo de hasta 2.5 mayor en relación a su altura.

#### 7.2.1. Determinación de biomasa de las plantas de mangle

La cantidad de biomasa calculada para las tres especies utilizadas en el presente estudio, fue similar en dos de ellas *R. mangle* y *A. germinans*, sin embargo esto no sucedió al compararlas con *L. racemosa*, debido a que la biomasa calculada para esta especie fue de hasta 3 veces mayor que las dos anteriores. Este hecho coincide con lo reportado por Moroyoqui Rojo (2011), quien en un humedal seminatural calculó la cantidad de biomasa para plantas de *L. racemosa* y *R. mangle* y encontró que en la primera fue mayor que la segunda, más no en la proporción que se presenta en el nuestro trabajo.

Al comparar la cantidad de biomasa producida particularmente para cada especie separando raíz y follaje de la misma manera encontramos que existe una similitud entre *R. mangle* y *A. germinans* ya que para estas dos especies la mayor cantidad de biomasa se obtuvo en la raíz, sin embargo en *L. racemosa* no fue así la mayor cantidad se reportó en el follaje, inclusive fue la planta que creció más en altura.

En los sistemas hidropónicos como nuestro experimento, el principal medio de crecimiento de las plantas es en el agua a través de raíces desnudas, las cuales entre sus funciones básicas se encuentra el anclaje, la absorción de agua y nutrientes, el transporte de sustancias hacia los órganos aéreos de la planta y sostenimiento del vástago (Eshel y Waisel, 1996). Sin embargo la relación en la proporción del desarrollo de biomasa en la parte aérea o radical es variable entre organismos, incluso cuando se encuentran bajo las mismas condiciones, dicha variación en la proporción, sugiere que no hay una relación idónea universal asociado con un óptimo desarrollo, sino que cada especie tendrá un rango de valores adecuado para cada planta (Romero *et al.*, 1986), que se está relaciona con el origen, función y la capacidad de incorporar nutrientes a



sus diferentes órganos de las mismas. En nuestro trabajo *L. racemosa* presento una parte área muy desarrollada, con tallos gruesos y abundante follaje comparada con las otras dos especies, quienes no presentaron una parte área muy desarrollada con pocas ramificaciones y follaje, siendo la parte radical la más abundante.

### 7.3. Relación longitud-peso y tasas de crecimiento de los peces

Particularmente para *D. latifrons* existe poca información sobre su relación longitud-peso y tasas de crecimiento, tanto en cultivo como en su ambiente silvestre y menos información aún en sistemas cerrados integrados con otro organismo como plantas (manglar) como nuestro caso, la mayoría de los trabajos de investigación para esta especie no son actuales y se centran básicamente en describir su abundancia, al papel ecológico que tiene en diferentes cuerpos de agua y sistemas lagunares, y en la caracterización fisiológica (Yáñez y Cols, 1977; Uribe y Cols, 1988; Hendrickx y Cols, 1996; Clive y Cols, 1995).

De acuerdo a la relación longitud-peso encontrada tanto en los estanques con manglar como en los controles, se obtuvo que estos organismos presentaron un crecimiento de tipo alométrico negativo, es decir que el incremento en peso es menor respecto a la longitud, lo cual nos indica que este pez llega a ser más delgado para su longitud a medida que crece (Wottom 1990).

En cuanto a las tasas de crecimiento para estos organismos no se encontraron referencias donde se describieran estos coeficientes para esta especie en particular, incluso ni para otros peces de la misma familia a la cual pertenecen. Sin embargo existen referencias de algunos trabajos donde se ha monitoreado el crecimiento en longitud y ganancia de peso de estos peces, con características parecidas a nuestro experimento pero sin plantas de mangle, como el caso de Larumbe (2002) y Castro Rivera *et al.*, (2005), quienes reportaron un crecimiento en longitud similar a lo encontrado en nuestro trabajo, sin embargo difieren en la ganancia en peso reportado en el presente estudio, debido a que sus resultados para esta variable se encuentran por encima de lo nuestro, en un tiempo similar de experimento.

#### 7.4. Variables físico-químicas (O<sub>2</sub> disuelto, temperatura, pH y salinidad)

Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron durante la mañana y tarde. En los estanques con manglar por las mañanas el valor promedio obtenido fue de 4,93 mg L<sup>-1</sup>, mientras por las tardes fue de 6,54 mg L<sup>-1</sup>, para los estanques controles el valor promedio durante las mañanas fue de 4,98 mg L<sup>-1</sup> y de 6,59 mg L<sup>-1</sup> por las tardes. Como se observa en los valores registrados de oxígeno disuelto tanto en los estanques con manglar como en los controles, no se aprecia una diferencia entre ambos, esto se debe a que todos los estanques contaban con aireación de inyección de burbuja (blower) de 1 hp, que mantuvo una aireación constante y niveles óptimos de oxígeno disuelto.

Por su parte la temperatura es una variable que influye tanto en el crecimiento de las plantas de mangle como de los peces. En el caso de las plantas de mangle, algunos autores mencionan que las bajas temperaturas son un factor limitante para su desarrollo (Willem, 2000). Sin embargo otros autores como Contreras y Gutiérrez (1989) mencionan que el intervalo óptimo para el crecimiento de los manglares va de los 20 a los 34 °C. En nuestro trabajo el valor promedio de temperatura mínimo y máximo fue de 27 a 30 °C, lo que está dentro del intervalo óptimo para su crecimiento.

En cuanto a los peces la especie *D. latifrons* es considerada dentro del grupo de los euritermos. Su temperatura óptima de crecimiento va desde los 22 °C a los 33 °C, resistiendo a variaciones mayores (Ancieta y Landa, 1977). Dentro del intervalo anterior se encuentran los valores registrados en el presente trabajo, evidenciando una buena temperatura para el desarrollo de estos organismos.

Los niveles promedio de pH obtenidos en los estanques con plantas de mangle fueron de 7.7 a 8.1, mientras que en los estanques controles fueron de 7.7 a 8.0 prácticamente fueron iguales a lo largo del experimento.

Schnetter (1986), en un cultivo hidropónico de plantas de mangle encontró que las plantas alcanzaban su óptimo desarrollo a pH de 6 a 8 y que a un pH por encima de los 8 las plantas permanecen pequeñas, por lo tanto los valores de pH registrados en nuestro experimento no influyeron en el desarrollo de las plantas ni de los peces, ya que a pesar de haber sido un sistema cerrado sin

constantes recambios de agua no se encontraron condiciones acidas ni alcalinas que influenciaran en el desarrollo de los organismos.

Por otra parte la salinidad es uno de los principales factores que producen estrés tanto en plantas como en animales, afectando el crecimiento y la productividad. Los manglares son propensos al estrés por cambios en la salinidad, induciendo un cambio en su metabolismo (Skriver y Mundy, 1990). Esta condición se presenta cuando la salinidad se encuentra por encima de las 75 ups. Sin embargo en nuestros estanques experimentales con plantas de mangle la salinidad se mantuvo con un promedio de 31 ups lo que nos indica que esta variable no fue un factor que limitara su buen desarrollo en nuestro experimento.

En cuanto a los peces, *D. latifrons* es una especie catalogada como eurihalina debido a los grandes rangos de salinidad en los cuales puede sobrevivir, al igual que las plantas no se observó ningún problema con estos organismos ya que se han reportado en cuerpos de agua con salinidades por arriba de los 35 ups y por debajo de las 5 ups en épocas de reproducción (Ancieta y Landa, 1977), mientras que en nuestro experimento se registró una salinidad promedio de 31 ups por lo tanto no fue un factor que influyera en este pez.

## 8. CONCLUSIONES

El uso de plantas de mangle de forma hidropónica dentro de un sistema cerrado con peces “puyeque”, son capaces de producir un efecto significativo en la remoción de nutrientes disminuyendo su concentración.

Cualquiera de las tres especies de mangle utilizadas en nuestro experimento, pueden ser integradas como fuente removedor de nutrientes dentro de un sistema de cultivo de “puyeque”.

El sistema radicular fue mayor que el crecimiento en altura en las tres especies de mangle utilizadas en nuestro trabajo.

*L. racemosa* fue la especie que mayor tamaño en altura presento, resultando con una tasa de crecimiento mayor de un 49% respecto a *R. mangle* y de un 36% mayor respecto a *A. germinans*.

*A. germinans* fue la especie que presento un mayor crecimiento de raíz, con una tasa de crecimiento mayor del 92% en relación a *R. mangle* y un 28% mayor respecto a *L. racemosa*.

Las tasas de crecimiento absoluto y específico de los peces, fueron bajas e iguales tanto en los estanques con plantas de mangle como en los controles.

Las variables físico-químicas como el O<sub>2</sub>, temperatura, pH y salinidad no fueron un factor limitante en la remoción de nutrientes, crecimiento de las plantas y el desarrollo de los peces en nuestro trabajo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Ancieta, D.F. y A. Landa. 1977. Reseña taxonómica y biológica de los peces cultivados en el área andina incluyendo la costa del Perú. FAO Inf. Pesca 2(50): 106-113.
- Angel Pérez C., 2011. Crecimiento y supervivencia de *Lutjanus colorado* (Jordan y Gilbert, 1992) en jaulas flotantes a dos densidades de siembra. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias del Mar Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 70 p.
- Araneda, M., Pérez, E. y Gasca, E. 2008. White Shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: Conditions state based on length and weight. Aquaculture. 283: 13-18.
- Castro Rivera R., G. Aguilar Benítez, J. de la Paz Hernández Girón. 2005. Conversión alimenticia en engordas puras y mixtas de Popoyote (*Dormitator latifrons*, Richardson, 1884) en estanques de cemento. Revista Aquatic, n° 23, pp. 45-52.
- Chopin, T., A. Bushmann, C. Halling, M. Troell, N. Kautsky, A. Neori, G. Kraemer, J. Zertuche González, C. Yarish & C. Neefus. 2001. Integrated seaweed into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. J. Physiol., 37: 975-986.
- Contreras, E. F. Gutiérrez, F. M. 1989. Temas de Oceanografía Biológica en México. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. En: De la Rosa VJ, González FF (eds.), UABC. 57-78.
- DeWalt, B.R., J.R. Ramírez Zavala, L. Noriega, y R.E. González, 2002. Shrimp Aquaculture, the People and the Environment in Coastal Mexico. World Bank, NACA, WWF, FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.

- Eshel, A. y Y. Waisel. 1996. Multiform and multifunction of various constituents of one root system. En Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (eds). Plant roots. The hidden half (2a edicion) pp. 175-192. Marcel Dekker, Inc., New York. Basel, Hong Kong.
- FAO, 2006. State of World aquaculture 2006. FAO Fisheries Technical Paper 500. Inland Water Resources and Aquaculture Service, Fishery Resources Division, FAO Fisheries Department. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- Food and Fertilizer Technology Center (FFTC). 2005. Purification of wastewater from shrimp pond using mangroves. Aquaculture.
- Frías, M. G y Páez, F. 2001. Toxicidad de los compuestos del nitrógeno en camarones, en Camaronicultura y Medio Ambiente. (Editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa, México. 225-242.
- Gautier, D., Amador, J., y Newmark, F., 2001. The use of mangrove wetland as a biofilter to treat shrimp pond effluents: preliminary results of an experiment on the Caribbean coast of Colombia. Aquaculture Research, 32:787.
- Gautier, D., 2002. The Integration of Mangrove and Shrimp Farming: A Case Study on the Caribbean Coast of Colombia. World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.
- Grosso, J. L. Sánchez, L.E., D. Avendaño y R. Restrepo. 2000. Retención de cloruros, bario y cromo en dos especies de mangle *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* desarrolladas en aguas de producción de la industria petrolera mediante la técnica de cultivo hidropónico. Cienc. Tecnol. 2. pp. 57-67.

- Hammer, D.A., 1989. Constructed wetlands for wastewater treatment. Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Hendrickx M.E., J. Salgado Barragán, M.A. Mede Martínez. 1996. Abundance and diversity of macrofauna (fish and decapoda crustaceans) in *Penaeus vannamei* culture ponds in Western México. *Aquaculture*. 143:61- 73.
- Huett, D.O., Morris, S.G., Smith, G., Hunt, N., 2005. Nitrogen and phosphorus removal from plant nursery runoff in vegetated and unvegetated subsurface flow wetlands. *Water Research* 39, 3259–3272.
- International Water Association (IWA), 2000. *Constructed Wetlands for Pollution Control, Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Publishing, London.
- Kadlec, R. H, Knight, R. L. 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press. Boca Raton. Florida. FL: Lewis Publishers.
- Klomjek, P., Nitisravut, S., 2005. Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere* 58, 585–593.
- Kramer, P., J. 1989. *Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna*. Ed EDUTEX, S.A. México. 538 p.
- Larumbe, E. 2002. Algunos aspectos biológicos de los Popoyotes (*Dormitator latinfrons*) en cautiverio. *Revista Panorama Acuícola*, 24-25. Disponible en URL: <http://fis.com/panoramacuicola/noticias/noticia%203.htm>.
- Moroyoqui-Rojo, L., Flores-Verdugo, F. J., Escobedo-Urías, D. C. 2005. Análisis de la eficiencia en la remoción de nutrientes en un sistema experimental silvopescuero (Manglar-Ictiofauna) con recirculación de agua. Tesis Maestría. CIDIR. IPN. 116 pp.

- Moroyoqui, Rojo L. 2011. Remoción de nutrientes en un humedal artificial utilizando dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*). Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad, Sinaloa, (IPN). México. 76 p.
- Murphy, J. y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27.
- Naidoo, G. 2009. Differential effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth of dwarf *Avicennia marina* mangroves. *Aquatic Botany.*, 90: 184-190.
- Paniagua-Michel, J. & O. García. 2003. Ex-situ bioremediation of shrimp culture effluent using constructed microbial mats. *Aquacult. Eng.*, 28: 131-139.
- Páez-Osuna, F., Hendrickx-Reners, M. E, Cortes-Altamirano, R. 1994. Efecto de la calidad del agua y composición biológica sobre la producción en granjas camaronícolas. Informe final. Proyecto CONACYT 0625-N9110. 445 pp.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruíz-Fernández, A. C. 1999. Discharge of nutrient from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin.* 38 (7): 585-592.
- Quevedo Pacheco, G., 2008. Remoción de nutrientes en sistema experimental silvopescuero (manglar-ictiofauna) con/sin fuentes alóctonas de C N y P. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) Unidad Académica Mazatlán. 74 p.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191: 1-382.



- Romero, A.E., J. Ryder, J.T. Fisher y J.G. Mexal. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantation. *Forest Ecology and Management* 16: 281-290.
- Schnetter, M.L. 1986. La influencia del pH y de la salinidad en el crecimiento de *Avicenia germinans* (L.) L. en cultivo hidropónico. *Caldasia* 15 (71-75):381-391 p.
- Skriver, K. y Mundy, J., 1990. Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. *Plant. Cell*; 2: 12-502.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonium in natural waters by phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14:799-801 pp.
- Strickland, J. D. y T. R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada. Bull. 167. Second Edition..
- Tilley, D.R., Badrinarayanan, H., Rosati, R., y Son, J., 2002. Constructed wetlands as recirculation filters in large scale shrimp aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 26: 81-109.
- Willen, F. B. 2003. Biomass dynamics of seagrasses and the role of mangrove and seagrass vegetation and different nutrient sources for an intertidal ecosystems. *Aquat. Bot.* 66: 225-239.
- Wong, Y.S., N.F.Y. Tam, G.Z. Chen y H. Ma. 1997a. Response of *Aegiceras corniculatum* to synthetic sewage under simulated tidal conditions. *Hydrobiologia*, 352: 89-96.

- Wootton, R.J. 1990. Ecology of Teleost fishes. Department of Biological Sciences. University College of Wales. Published by Chapman & Hall, London.
- Wu, Y. Chung, A. Tam, N. F. Y. Pi, N. Wong, M. H. 2008. Constructed mangrove wetland as secondary treatment system for municipal wastewater. *Ecol. Eng.* 34: 137–146.
- Wu, Y., Tam, N.F.Y., Wong, M.H., 2008a. Effects of salinity on treatment of municipal wastewater by constructed mangrove wetlands microcosm. *Mar. Pollut. Bull.* 57, 727–734.
- Ye, Y., N.F.Y Tam y Y.S. Wong.2001. Livestock Wastewater Treatment by a Mangroves Pot-Cultivation System and the Effect of Salinity on the Nutrient Removal Efficient. Marine Biotechnology Key Lab, Ningbo.
- Zar .1996. Biostatistical. Analysis, Third Edition. Prentice Hall, USA.