



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

Unidad Académica Mazatlán

Universidad Nacional Autónoma de México



Remoción de nutrientes en un sistema experimental silvopescuero (manglar-  
ictiofauna) con/sin fuentes alóctonas de C, N y P.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(Biología Marina)

P R E S E N T A:

**B.A. Georgina Quevedo Pacheco**

Director de Tesis: Dr. Francisco J. Flores Verdugo

Comité Tutorial: Dra. Margarita E. Gallegos Martínez

Dr. Felipe Amezcua Martínez

Dr. Martín Frías Espericueta

Dr. David Sergio Valdés Lozano

Mazatlán, Sinaloa, Diciembre 2008





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

Expreso mi sincera gratitud a quienes hicieron posible el logro de esta tesis.

*Al. DR. FRANCISCO J. FLORES VERDUGO.*

A mi padre adoptivo, el que me apoyo en esta fase de mi vida, aun que el diga que siempre nos deja solos, le agradezco por que sin su apoyo no podría haber concluido y que bien que nos toco la parte inclinada de la montaña, por que así se valora más las cosas y que bueno que aun no llego a la punta, por que sino, ya no tendría por que luchar.

A mi comité tutorial en especial Dr. Felipe Amezcua por dar el punto bueno a esta tesis, Dr. Martín Frías apoyarme cuando tenia que dejar todo esto y Dr. David Valdés por estar siempre presente en mis tutoriales, Dra. Margarita Gallegos. A ellos les doy las gracias de corazón.

A Margarita Cordero y Natalia Medino Barba, por todo su apoyo en lo relacionado con los aspectos administrativos.

A María Clara Ramírez Jáuregui y Pedro allende Rosales por todas las facilidades brindadas en cuestión de literatura.

Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz, al Lic. Carlos Suárez Gutiérrez y Herlinda Rojas Virgen (gracias por todo) por los aspectos relacionados con el centro de cómputo y los tutoriales.

Al M.C. Sergio Rendón, conocido como el "Tama", el cual encuentro un apoyo incondicional, gracias.

A la M.C. Alondra Martínez Hernández por ayudarme durante la realización de mi experimento y por saber que tan cruel puede ser la vida si no tienes a alguien cerca.

A mis compañeros de generación: A los M. C. Alondra Martínez, Miguel, Julio, Eynar M. A, Alberto Rodríguez, Nadia, Yarha y Carlos illich Moyeda, Dr. Martín E. Jara Marini y al Biólogo Daniel Moreno.

A los trabajadores del ICMYL. UNAM. Mazatlán. Daniel, Sra. Miriam y Genaro, por su gran ayuda otorgada durante mi estancia en el instituto.

A mis amigos que han estado conmigo en las malas y en las buenas: Las GLEN aún estamos alejadas y nuestra amistad sigue, Naty, Oscar, Blas, Mariana Alondra, Marina, Dania, Perla, Nuvia, Angeles, Gus, Don chuy, Vianey y Biol. Sergio Campo y su esposa. Gracias a todos por formar parte de esta etapa.



## DEDICATORIA

A mis padres:

Sr. Félix Quevedo Alvarado  
Sra. Ángela Pacheco García

Gracias y los adoro, por su apoyo que han depositado en mí nuevamente en esta nueva fase de mi vida.

A mis hermanos:

Félix Quevedo Pacheco por las visitas a Mazatlán; Jacqueline y Mauricio y mi sobrino Emmanuel por el apoyo y esas llamadas alentadoras.

A mis tíos y primos:

Genio, Conchis, Anabel, Tere, Jessica, Lola, Nina, Feli, Cruz, Lulú, Roció, Mimí, Primaso Miguel, Gema, Luz, Juana, Fernandito y Nely, Fernando, Eliza, Lilia, Lupe, a todos ellos que siempre me reciben en Santiago de Querétaro.

A una persona muy especial, aunque no esta en cuerpo y alma aquí conmigo, pero donde esta cada día esta más orgullosa de mí y esto sigue aún.

Al M.C. Leonardo Moroyoqui Rojo, más que un compañero de laboratorio y amigo se convirtió en mi ángel, el que siempre estuvo cuando más necesitaba ayuda y me escuchaba ha el mil y un millón de gracias.

Por último diré que no he concluido esto sola si no fue con ayuda de mucha gente que se ha cruzado en mi camino y base ha esto he podido madurar y resolver lo que se me presenta y siempre seguir adelante pase lo que pase, nunca estoy sola.



## ÍNDICE

**DEDICATORIA**  
**AGRADECIMIENTOS**  
**LISTA DE FIGURAS**  
**LISTA DE TABLAS**

## ÍNDICE

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. ANTECEDENTES</b>	5
<b>3. HIPÓTESIS</b>	7
<b>4. OBJETIVO GENERAL</b>	7
<b>5. OBJETIVO ESPECÍFICOS</b>	7
<b>6. ÁREA DE ESTUDIO</b>	8
<b>7. MÉTODOS</b>	9
7.1. Diseño del experimento	9
7.1.1. Colecta de semillas y germinación	9
7.1.2. Filtros biológicos y sistema cerrado de recirculación	9
7.1.3. Maduración del sistema	13
7.1.4. Toma de muestras	13
7.1.5. Tiempo de residencia del agua	13
7.2. Determinación de nutrientes	14
7.2.1. Cálculo del porcentaje en la remoción de nutrientes	15
7.3. Integración de organismos al sistema	16
7.4. Crecimiento de plántulas de manglar en los biofiltros	18
7.5. Variables físicas	18
7.5.1. Temperatura	18
7.5.2. Salinidad	18
7.6. Análisis de datos	20
<b>8. RESULTADOS</b>	23
8.1. Porcentaje de la Remoción de Nutrientes	23
8.1.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto	23

8.1.2. Ortofosfato	24
8.2. Remoción de nutrientes en el ciclo agosto-septiembre	25
8.2.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) con alimento	25
8.2.2. Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	26
8.2.3. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) sin alimento	27
8.2.4. Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	28
8.3. Remoción de nutrientes en el ciclo octubre –diciembre.	31
8.3.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) con alimento	31
8.3.2. Ortofosfatos	32
8.3.3. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) sin alimento	33
8.3.4. Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	34
8.4. Peces	37
8.4.1. Crecimiento de peces Poeciliidos con / sin alimento	37
8.4.2. Crecimiento de peces Poeciliidos el Tk3 sin alimento	39
8.4.3. Crecimiento de Poeciliidos con y sin <i>R. mangle</i>	40
8.5. Crecimiento de plántulas de manglar	42
8.5.1. Crecimiento de <i>Rhizophora mangle</i> con / sin alimento	42
8.6. Salinidad-Temperatura en el Sistema Experimental	44
<b>9. DISCUSIÓN</b>	45
9.1. Remoción de NID	45
9.2. Remoción de PO <sub>4</sub>	45
9.3. Crecimiento de peces Poeciliidos con / sin manglar	47
9.4. Crecimiento de Plántulas de <i>R. mangle</i>	48
9.5. NID (Nitrógeno Inorgánico Disuelto)	48
9.6. PO <sub>4</sub> (Ortofosfatos)	49
9.7. Peces Poeciliidos con / sin <i>R. manglar</i>	51
9.8. Crecimiento de Plántulas de <i>R. mangle</i>	52
<b>10. CONCLUSIONES</b>	54
<b>11. REFERENCIAS</b>	56



## RELACIÓN DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Localización geográfica del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología. UNAM. Mazatlán	8
Fig. 2. Conexiones del sistema. Primera conexión, entre el biofiltro y el tanque con peces omnívoros (Familia poeciliidae). Segunda, entre los peces omnívoros y un pez carnívoro ó peces omnívoros (Familia lutjanidae ó crías de la Familia poeciliidae)	11
Fig. 3. Diseño y construcción del sistema experimental con fuentes alóctonas de C, N y P orgánico (alimento)	12
Fig. 4. Diseño y construcción de los sistemas sin fuentes alóctonas de C, N y P orgánico	12
Fig. 5. Familia Poeciliidae	16
Fig. 6. <i>L. guttatus</i>	17
Fig. 7. Porcentaje de eficiencia en la remoción de NID en los ciclos de agosto-septiembre y octubre -diciembre	24
Fig. 8. Porcentaje de eficiencia en la remoción de PO <sub>4</sub> en los ciclos de agosto-septiembre y octubre-diciembre	24
Fig. 9. Variación de la concentración de NID, con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12hr), hasta la 3 <sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr	26
Fig. 10. Variación de la concentración de PO <sub>4</sub> , con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 3 <sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr	27
Fig. 11. Variación de la concentración de NID, con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr) hasta la 3 <sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr	28
Fig. 12. Variación de la concentración de PO <sub>4</sub> , con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin alimento y sin manglar (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 3 <sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr.....	29
Fig. 13. Variaciones de las comparaciones de NID, en agosto-septiembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento	30
Fig. 14. Variaciones de las concentraciones de PO <sub>4</sub> , en agosto-septiembre comparado los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento	30
Fig. 15. Variación de la concentración de NID, con alimento y con manglar (BM/ca) y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 4 <sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr	31
Fig. 16. Variación de la concentración de PO <sub>4</sub> , con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 4 <sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr	32

Fig. 17. Variación de la concentración de NID, sin alimento y con manglar (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 4 <sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr	33
Fig. 18. Variación de la concentración de PO <sub>4</sub> , con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 4 <sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr	34
Fig. 19. Variaciones de las concentraciones de NID, en octubre-diciembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento	36
Fig. 20. Variaciones de las concentraciones de PO <sub>4</sub> , en octubre-diciembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento	36
Fig. 21. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk 2 con alimento	37
Fig. 22. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk 2 sin alimento	38
Fig. 23. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk3 sin alimento	39
Fig. 24. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos con manglar y con alimento (BM/ca)	40
Fig. 25. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos sin manglar (BC/ca)	40
Fig. 26. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos con manglar y sin alimento (BM/sa)	41
Fig. 27. Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos sin manglar y sin alimento (BC/sa)	41
Fig. 28. Curva de crecimiento de plántulas de <i>R. mangle</i> con alimento	42
Fig. 29. Curva de crecimiento de plántulas de <i>R. mangle</i> sin alimento	43
Fig. 30. Variación de la temperatura en el sistema experimental	44

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de eficiencia en la remoción de nutrientes durante agosto-septiembre y octubre-diciembre del 2006	23
Tabla 2. Resultados de las comparaciones múltiples de Tukey en los efectos de remoción de ambos tratamientos con sus respectivos controles durante agosto-septiembre	29
Tabla 3. Resultados de las comparaciones múltiples de Tukey en los efectos de remoción de ambos tratamientos con sus respectivos controles durante octubre-diciembre	35

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el papel que juega el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en forma de cultivo hidropónico, para la remoción de nutrientes en un sistema cerrado y determinar el crecimiento y sobrevivencia de peces poeciliidos. Por lo cual se analizaron las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (**NID** = nitratos + nitritos + amoníaco) y ortofosfatos (**PO<sub>4</sub>**) en los efluentes de ocho sistemas experimentales con y sin plántulas de manglar así como los aportes alóctonos de Nitrógeno, Fosforo y Carbono según el tratamiento. Cada sistema estuvo constituido por tres tanques de polivinilo, uno de 600 litros y dos de 450 litros. Los tanques de 600 litros constituyeron el filtro biológico con plántulas de manglar (BM) y controles sin plántulas de manglar (BC). En los estanques de 450 lt se instalaron peces omnívoros de la familia *Poeciliidae*. Los sistemas comprendieron duplicados de plántulas de *Rhizophora mangle* con alimento (BM/ca) y sin alimento (BM/sa) y controles con alimento (BC/ca) y sin alimento (BC/sa).

La toma de muestras de agua se realizó a las 6 horas de recirculación del agua y cada 12 horas durante periodos de 36 a 48 horas. Los experimentos comprendieron dos ciclos: agosto-septiembre y octubre-diciembre del 2006.

Las remociones en el ciclo agosto-septiembre en *R. mangle* con alimento (BM/ca) fueron del 74% del NID y 60 % del PO<sub>4</sub>, el control con alimento (BC/ca) 50% del NID y 90% del PO<sub>4</sub>. Los sistema sin alimento con manglar (BM/sa) presentaron una remoción del 83% del NID y 69% del PO<sub>4</sub>, el control sin alimento (BC/sa) 39% del NID y 64% del PO<sub>4</sub>. En el ciclo octubre-diciembre, BM/ca presentó una remoción del 72% de NID y 88% de PO<sub>4</sub>, los controles (BC/ca) el 53% del NID y 68% de PO<sub>4</sub>. En el sistema BM/sa el NID tuvo una remoción de 61% y para PO<sub>4</sub> del 93%, en el control (BC/sa) 61% del NID y 90% para PO<sub>4</sub>.

La sobrevivencia de Poeciliidos fue del 95% en todos los sistemas. El crecimiento de los poeciliidos fue de 0.69 cm mes<sup>-1</sup> en BM/ca, de 0.50 cm mes<sup>-1</sup> BC/ca y de 0.54 cm mes<sup>-1</sup> en BM/sa y de 0.38 cm mes<sup>-1</sup> en BC/sa de mayo a diciembre.

Con respecto al NID se encontraron diferencias significativas entre los sistemas con plántulas (BM/ca y BM/sa) de **1.35 a 2.12** veces mayores que los sistemas sin plántulas (BC/ca y BC/sa) excepto entre BM/sa y BC/sa para el ciclo octubre-diciembre. Los sistemas con plántulas BM/ca y BM/sa no presentaron diferencias significativas excepto en el ciclo octubre-diciembre donde BM/ca fue **1.2** veces mayor BM/sa.

Con respecto a los PO<sub>4</sub> en general se presentaron diferencias significativas entre los sistemas con plántulas (BM/ca y BM/sa) resultando de **1.03 a 1.29** veces mayores que los sistemas sin plántulas (BC/ca y BC/sa). Sin diferencias significativas o poco significativa entre los sistemas con plántulas BM/ca y BM/sa.

Los poeciliidos tuvieron la mayor tasa de crecimiento en los sistemas con manglar (BM/ca, BM/sa) resultando de **1.38 a 1.42** veces mayores que los sistemas sin plántulas (BC/ca, BC/sa). Los sistemas con alimento (BM/ca, BC/ca) fueron de **1.27 a 1.31** veces mayores que sin alimento (BM/sa, BC/sa).

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyo que las plántulas de manglar tienen la capacidad para reducir los nutrientes del agua y para mantener peces poeciliidos en sistemas con recirculación de agua y las futuras bases necesarias para un posible sistema silvopesquero.

# 1. INTRODUCCIÓN

El interés por el ecosistema de manglar se comenzó desde hace algunos años, por ser considerados como los ecosistemas tropicales más productivos de la biosfera, tanto en términos de productividad primaria, como por su aporte de materia orgánica a los ecosistemas costeros adyacentes (Lugo y Snedaker, 1974). Adicionalmente, los ecosistemas de manglar también actúan como biofiltros removiendo nutrientes, por lo que son considerados, al igual que otros humedales, los riñones del medio ambiente.

Además los ecosistemas de manglar se caracterizan por apoyar las pesquerías dando refugio, alimentación y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, así como refugio de flora y fauna silvestre, incluyendo a especies migratorias (Macnae, 1974; Norudin, 1987).

Un punto de mayor preocupación sobre los ecosistemas de manglar es la relación con el impacto que sufren éstos en términos de la productividad de las aguas costeras por los efluentes de la camaronicultura, que contienen nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que pueden alterar el ecosistema afectando a una gran cantidad de organismos (Heip, 1995).

Aunque la camaronicultura en sí puede resultar una actividad de importancia económica, el desarrollo de esta actividad conduce a la tala de manglar para la construcción de granjas acuícolas y degradación de la calidad del agua (Martínez-Córdova, 1998).

En las últimas décadas la acuicultura en general y en particular la camaronicultura y la piscicultura han crecido notablemente. Sin embargo, éstas actividades han provocado modificaciones al ambiente y condiciones de eutroficación (Ortega, 2002).



Al igual que ocurre en la camaronicultura, la piscicultura utiliza estos humedales como apoyo para criadero de peces marinos. En el caso del cultivo por jaulas flotantes, la mayor parte del alimento que se proporciona al organismo no es aprovechado, ya que el alimento que no es consumido va al fondo, creando concentraciones de nutrientes en el sistema (Luchini. L, *et al.* 1986). Según Páez (2001), menciona que el total de nitrógeno añadido del alimento balanceado es un 46.6% es recuperado de la cosecha de la biomasa liberándose al ambiente un 53.3%, en el caso del fosforo se recupera como biomasa 20.4% liberándose un porcentaje mayor 70.6%.

Los trabajos recientes se han enfocado en lo que actualmente se denomina Ingeniería ecológica ó ecotecnología que consiste en la manipulación inicial de un ecosistema natural con cierto grado de deterioro ó semi-natural para un uso específico. Esta relativamente nueva línea de investigación consiste en la manipulación ambiental con pequeñas cantidades de energía para la restauración de ecosistemas ó el control de ecosistemas seminaturales, basándose en la capacidad de autoregeneración de los ecosistemas y de los componentes biológicos involucrados (Odum, 1962). En el caso de ecosistemas deteriorados consiste en remover ó reducir la causa del deterioro (i.e. aguas residuales) ó con un impulso inicial de energía para que el ecosistema pueda restablecer su estructura funcional básica. Los ecosistemas seminaturales para un uso específico, consiste en la creación de un ecosistema seminatural con componentes del ambiente natural de mayor complejidad funcional. En particular los humedales han despertado el interés en su uso como sistemas seminaturales de tratamiento de aguas residuales ricas en nutrientes de origen agropecuario y urbano. Los principios de la ingeniería ecológica se han aplicado en la construcción de humedales con macrófitas acuáticas para la remoción de nutrientes de aguas residuales minimizando el impacto en la calidad del agua de los cuerpos de agua adyacentes. (Mitsch, 1988 y Mitsch y Jorge ,1989).



Brix y Schierup (1989), hacen referencia a que las macrófitas acuáticas tienen la capacidad de asimilar nutrientes y crear condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas, como autodepuradoras de ambientes acuáticos.

Se mencionó que la alternativa para la remoción de nutrientes consiste es el uso de áreas naturales de humedales, como filtros biológicos sin afectar su naturaleza del mismo.

Por otro lado, una segunda estrategia consiste en el uso de humedales seminaturales en sistemas cerrados de circulación de agua como una alternativa de solución viable a la concentración de nutrientes (Liao y Mayo, 1973; Wheaton, 1987; Muir, 1988).

Los sistemas de recirculación (o sistemas cerrados), nos permiten llevar a cabo trabajos de maricultura intensiva o de sistemas integrados de cultivos de peces y otros organismos, donde se pueden controlar la mayoría de los factores externos generando un menor daño al ambiente. También nos permiten llevar a cabo ensayos nutricionales, patológicos, de comportamiento, reproductivos y digestivos con distintas especies y en sus diferentes estados, solventando problemas como la falta de agua marina de buena calidad, así como la reducción de riesgos negativos de los desechos producidos, minimizando estos para no estropear al ambiente. Por otro lado, el trabajo de investigación para el desarrollo de sistemas cerrados, permite llevar a cabo pruebas antes de pasar a los niveles de producción masiva, por lo que el uso potencial y la capacidad de sistemas cerrados de recirculación de agua están teniendo cada vez más importancia en el desarrollo de las investigaciones con organismos marinos, pudiendo ser creados de cualquier forma y dimensión (Martínez y Aguirre, 2000).



De acuerdo a lo anterior, este trabajo plantea diseñar un sistema experimental de recirculación de agua con plántulas de manglar, con la hipótesis de que este sistema disminuirá las concentraciones de nutrientes (amonio, nitratos, nitritos y ortofosfatos) provenientes de una fuente externa (alimento balanceado) y de los desechos de los mismos peces.

Para comprobar su eficiencia se integraron al sistema experimental peces de la Familia Poeciliidae. Estos peces son omnívoros, y de muy amplia distribución en las zonas intertropicales. Estudios anteriores demuestran que es una de las pocas especies con hábitats dulceacuícolas, estuarinos, marinos e hipersalinos (Koster, 1957).

Así mismo algunos poeciliidos formarán parte el alimento vivo en el estadio juvenil-adulto, para la segunda especie integrada a los sistemas con alimento la especie *L.guttatus* conocida como el pargo, con el fin de aceptar a los poeciliidos como sustituto de alimento y tener las condiciones adecuadas para su cautiverio.

En algunos trabajos mencionan que los cultivos con alimento vivo tiene la particularidad afectar en menor grado la calidad del agua, debido a que tienen movimientos, por lo que no se depositan en el fondo a diferencia del alimento inerte que si no posee una buena flotabilidad, se irá al fondo, donde se descompone y afecta al medio, causando a veces una mortalidad total del estanque (Blanco y Tacón, 1989).

También se evaluara la capacidad de las plántulas de manglar como única fuente de alimento para sostener una población de peces poeciliidos en un sistema sin una fuente alóctona de alimento.



## 2. ANTECEDENTES

Existen pocos estudios relacionados con el uso de manglar como biofiltro. Ye *et al.* (2001), compararon la capacidad de 2 especies de manglar (*Kandelia candel* y *Bruguiera gymnorhiza*) bajo dos condiciones de salinidad (agua dulce y agua salina) para remover nutrientes de aguas residuales provenientes de efluentes ganaderas. La eficiencia en la remoción de nutrientes para *K. candel* fue 84.3% de NID y 95.5% para *B. gymnorhiza*, mientras para  $PO_4$  *K. candel* removió un 79.2% y *B. gymnorhiza* 91.8% bajo condiciones de agua dulce. En condiciones salinas la eficiencia de remoción para *K. candel* fue 92.7% de NID y 98.0% para *B. gymnorhiza*, mientras para  $PO_4$  *K. candel* removió un 88% y *B. gymnorhiza* 97.8%.

Moroyoqui- Rojo (2005), demostró que *Rhizophora mangle* removió un 79.6% del NID comparados con el 42% del control (sin plántulas) y para ortofosfato fue de 40.6% para el biofiltro con plantas y el control fue 22.3%.

Por otro lado existen diversos estudios utilizando otras macrófitas acuáticas como sistemas de filtración y remoción de nutrientes.

Neori (1999) en un sistema de recirculación de agua utilizando *Ulva sp*, determinó que la excreción de amonio y otros materiales de desecho producidos por peces fueron reducidos en gran medida por el alga marina. La recirculación a través del biofiltro con macroalgas tuvo una eficiencia del 74%.

Seawright *et al.* (1998) evaluaron la remoción de nutrientes de un sistema hidropónico utilizando lechuga romanita (*Lactuca sativa longifolia*) integrado a un cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Los nutrientes liberados por los peces fueron removidos con una eficiencia del 62%.



Tilley *et al.* (2002) construyeron un humedal con recirculación de agua utilizando 10 especies de macrofitas: ruppia (*Ruppia marítima*), chara (*Chara ssp*), pithophora (*Pithophora spp*), pasto marino del sur (*Hydrochola carolinensis*), tule (*Typha Latifolia*), junco (*Juncus effusus*), arbusto acuático (*Sesbania drummondii*), ojo de buey marino (*Borrichia frutescens*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) para darle tratamiento a los efluentes de la camaronicultura, encontrando una reducción de 31% de PO<sub>4</sub> (TP), 65% de sólidos suspendidos totales (TSS) y 76% de Sólidos Suspendidos Inorgánicos (ISS), respectivamente, en la recirculación de agua, mientras que las formas nitrogenadas fueron removidas en un 85%, determinando que la construcción de humedales puede satisfactoriamente reducir el impacto causado por el hombre a los cuerpos de agua costeros.



### 3. HIPÓTESIS

El mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en un cultivo hidropónico tienen una mayor capacidad en la remoción de nutrientes en un sistema con recirculación de agua, proporcionado la estancia de peces omnívoros y un carnívoro, así como también tienen la capacidad para mantener una población saludable de peces poeciliidos.

### 4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la remoción de nutrientes en un sistema semi-natural de manglar-ictiofauna con recirculación de agua (SSNM-I), donde se evaluará la sobrevivencia y crecimiento de peces omnívoros de la familia Poeciliidae con y sin una fuente alóctonas de C, N y P.

### 5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la capacidad de remoción de nutrientes en un sistema con recirculación de agua (SSNM-IH) con plántulas de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) con y sin fuentes alóctonas de C, N y P orgánicos (alimento balanceado).

Determinar la sobrevivencia de peces de la familia Poeciliidae y su potencial de crecimiento, con y sin fuentes alóctonas de C, N y P orgánicos.

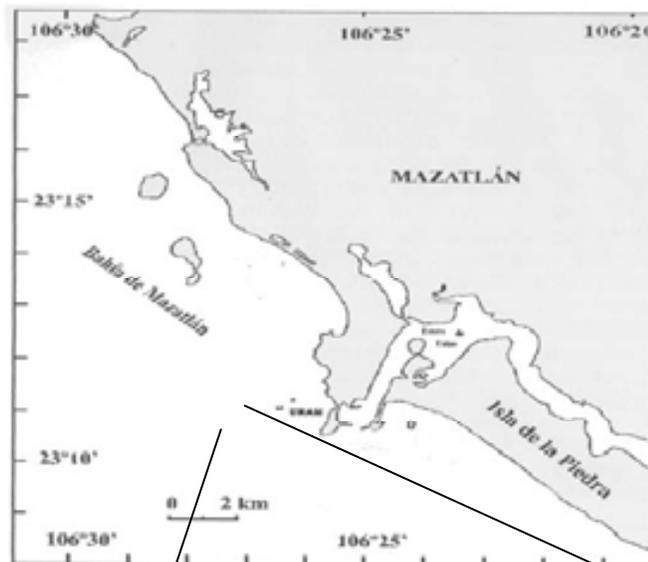
Determinar el crecimiento de plántulas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en un sistema con recirculación de agua en un cultivo hidropónico (SSNM-IH).

Como un objetivo secundario perfilar el potencial del sistema para la sobrevivencia de peces carnívoros de la familia Lutjanidae (pargo).



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Mazatlán, localizado al sur del estado de Sinaloa, en el puerto de Mazatlán, ( $23^{\circ} 09'00''$  a  $23^{\circ} 13'00''$  (N) y de  $106^{\circ}20'00''$  a  $106^{\circ}25'00''$ (W).



*Fig.1. Localización geográfica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.*

*Mazatlán.*



## 7. MÉTODOS

### 7.1. Diseño del experimento

#### 7.1.1. Colecta de semillas y germinación

Se realizaron dos salidas de campo al sistema lagunar Estero de Urías, Mazatlán, Sin. (23° 13' y 23° 11' N y 106° 23' y 106° 21' W), con la finalidad de coleccionar hipocótilos de mangle rojo (*Rhizophora mangle*). La primera se realizó en octubre de 2005 y la siguiente en marzo de 2006.

Una vez terminada la colecta de 144 hipocótilos, estos fueron llevados al Laboratorio de Conservación y Restauración de Ecosistemas Costeros de la UNAM, Unidad Académica Mazatlán, donde fueron depositados en un recipiente de 70 litros (41 cm ø, 56 cm de altura) con 47 litros de agua dulce mezclada con agua marina, ambas fueron filtradas y mezcladas hasta una concentración de 15 ups, se esperó un mes, para el crecimiento y desarrollo de su sistema radicular.

#### 7.1.2. Filtros biológicos y sistema cerrado de recirculación

Cada sistema de recirculación estaba constituido por tres tanques de polipropileno marca POLYPLAS, uno de 600 y dos de 450 litros (0.6m x 1m Ø). Estos fueron cortados de la parte superior para así poderse utilizar como tanques de crianza.

Se construyeron ocho sistemas cerrados de recirculación de agua, de los cuales cuatro sistemas estaban conformados por plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), en un sistema semi-natural manglar-Ictiofauna de forma hidropónica (SSNM-IH), suspendidas sobre una base lámina de poliuretano de una pulgada de grueso. Los otros cuatro (sin plántulas) se manejaron como controles.

En los primeros cuatro sistemas, (dos con plántulas y dos sin plántulas), se colocaron, en uno de los tanques de 450 litros, peces de la familia Poeciliidae (60



organismos por tanque) y en el otro, un pez de la familia Lutjanidae (1 organismo por tanque) formando así una pequeña cadena trófica, incluyo una fuente alóctona de alimento (Fig.3).

Así mismo, en los otros cuatro sistemas sin fuentes alóctonas de C, N y P (dos sistemas con plántulas y dos sin plántulas) fueron colocados peces de la familia Poeciliidae con igual número de organismos en el segundo tanque y en el tercero se colocaron las crías de poeciliidos de todos los sistemas. Esto con el fin de no alterar el número de organismos que fueron colocados en Tk 2 de los ocho sistemas. (Fig.4).

El tanque de 600 litros constituyo el filtro biológico, el cual estaba conformado por una capa de 15 cm de grava ( $\varnothing= 5\text{mm}$ ), 10 cm de arena y plántulas de manglar en cultivo hidropónico (34 plántulas) flotando en una lámina de poliuretano (1 cm de espesor) (Fig. 3).

En los tanques que sólo contienen poeciliidos, las 34 plántulas se distribuyeron colocando 17 en el segundo tanque y 17 en el tercero, de forma hidropónica; su filtro estaba compuesto sólo de las capas de arena y grava, tapado con una lámina de hielo seco (1 cm de espesor) (Fig. 4).

Cada sistema estaba conectado por medio de mangueras de plástico de  $\frac{1}{2}$  pulgada. La primera conexión entre el biofiltro y el tanque con peces omnívoros (familia poeciliidae), se da por la parte inferior de ambos tanques. Este último se comunica con el tercero, el cual contiene un pez carnívoro ó peces omnívoros (familia lutjanidae ó crías de poeciliidos), por medio de un puente de agua (vaso comunicante) en la parte superior constituido por una manguera de plástico de  $\frac{1}{2}$  pulgada para mantener el mismo nivel de agua en los estanques (Fig. 2).



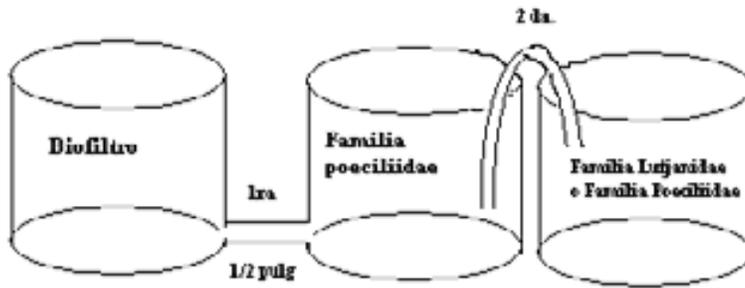


Fig. 2.-Conexiones del sistema. Primera, entre el biofiltro y el tanque con peces omnívoros (Familia poeciliidae). Segunda, entre los peces omnívoros y un pez carnívoro ó peces omnívoros (Familia lutjanidae ó crías de la Familia poeciliidae).

Para la construcción de cada filtro biológico, estaba conformado por una capa de 15 cm de grava ( $\varnothing=5\text{mm}$ ), 10 cm de arena. En el centro del biofiltro se colocó un tubo de PVC de 4 pulgadas y dentro de éste, un tubo de  $\frac{1}{2}$  pulgada por donde el agua fluye en forma vertical por medio de una bomba de aireación llevando el agua hasta el tercer tanque de peces (Fig. 3).

Para que el agua circulara entre los sistemas, se utilizaron 8 bombas de aire (compresores para acuario) con dos salidas de aire marca Air-Pump de 5 watts y 110 volts. Las salidas suministraron aire al sistema por medio de mangueras de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Una salida llegó a la parte media del tubo del biofiltro y, por medio de aire a presión, el agua era forzada a fluir a través del tubo hacia el tercer tanque. La segunda salida fue compartida con los tanques restantes y su función única es la de aireación de dichos tanques.

El volumen total de agua en cada uno de los sistemas es de 1462 litros, para saber el tiempo requerido por el sistema para recircular el volumen de agua, se tomó el tiempo en que se llenaba un vaso de un litro esto varias veces y de acuerdo al volumen; se obtuvo el tiempo promedio para el recambio completo (12 horas).



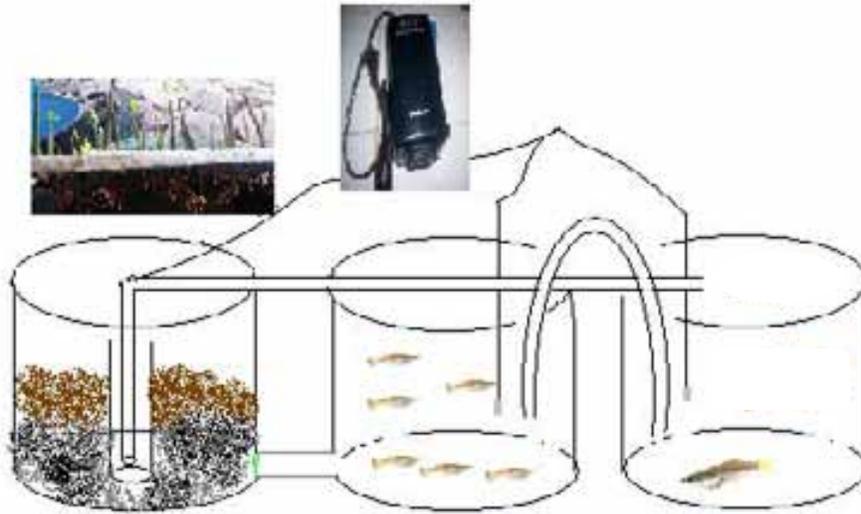


Fig. 3.-Diseño y construcción del sistema experimental con fuentes alóctonas de C, N y P orgánico (alimento).

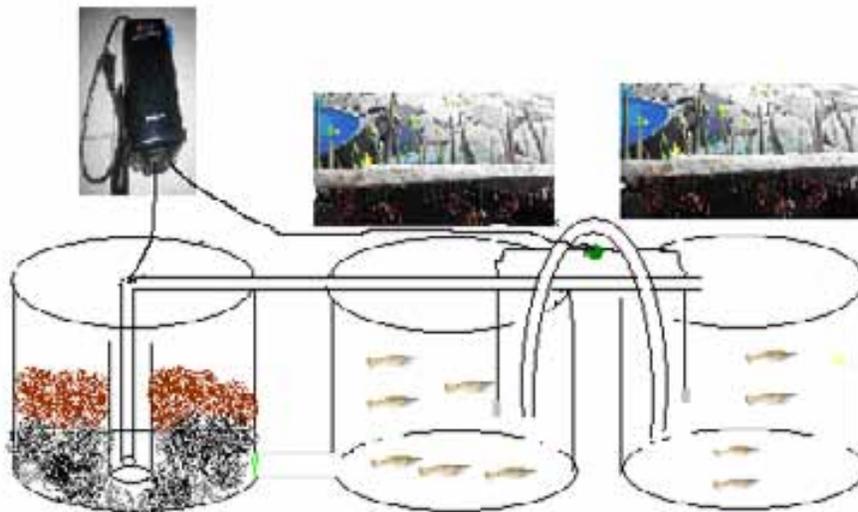


Fig. 4.-Diseño y construcción de los sistemas sin fuentes alóctonas de C, N y P orgánico.

El suministro de agua marina se obtuvo a través de un pozo intermareal localizado a la orilla del mar y cuenta con un sistema de bombeo marca SIEMENS de 4 caballos de fuerza.



### 7.1.3. Maduración del sistema

Consistió en poner a recircular el agua con/sin plántulas de manglar, por un periodo de cuatro meses, para el establecimiento de la comunidad bacteriana en el filtro biológico.

### 7.1.4. Toma de muestra

La supervisión de la calidad del agua se hizo a través de tomas de muestras, a las cuales se les determinaron las cantidades de nutrientes; esta fase dio inicio en agosto de 2006.

La recirculación del agua en el sistema experimental tuvo una duración de 36 y 48 horas. Dentro de estos periodos se realizaron de 3 a 4 muestreos. El primer muestro se efectuó después de iniciar con las recirculaciones tomando 2 muestras por cada sistema. Las horas de muestreo fueron las siguiente: 12, 24,36 y 48 se tomaron a partir de la salida de agua por el tubo de ½ pulgada en el tercer tanque.

La toma de las muestras se realizó por duplicado en cada uno de los sistemas de recirculación que conformaron el biofiltro utilizando botellas de plástico de 125 ml. Los análisis de amonio se realizaban inmediatamente después de tomar las muestras; mientras que la determinación del resto de los nutrientes se llevó a cabo, en los días subsecuentes, por lo que las muestras fueron conservadas en refrigeración.

### 7.1.5. Tiempo de residencia del agua

Los muestreos requeridos para la presente investigación se realizaron con un tiempo de residencia de 10 días sin recirculación de agua. El periodo de muestreo dio inicio en agosto de 2006, abarcando 10 ciclos de 10 días, más dos días de recirculación correspondiendo al **ciclo agosto a septiembre y el ciclo octubre a diciembre** del año en curso. Los estanques con peces permanecieron con aireación directa durante ese periodo.



## 7.2. Determinación de nutrientes

Para el monitoreo de la calidad del agua en el sistema experimental se realizó un análisis de los cuatro tipos de nutrientes más importantes y disponibles en el sistema experimental que son: nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ) y ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ). La determinación de nutrientes se efectuó en el Laboratorio de Ecosistemas Costeros UNAM, Unidad Académica Mazatlán.

Para 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; que son:

Los nitratos ( $\text{NO}_3$ ): se efectuó mediante el método de Morris y Riley (1963) con algunas modificaciones por Grasso (1964); Nitritos ( $\text{NO}_2$ ): se obtuvo por Bendschneider y Robinson (1952); y estas dos son leídas a una longitud de 543 nm; 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 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 obtuvo 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 determinaron según lo descrito por Murphy y Riley (1962), leído en 690 nm. Todas las técnicas fueron desarrolladas según lo recomendado por Strickland y Parsons (1972) para cada caso.



### 7.2.1. Cálculo del porcentaje en la remoción de nutrientes

Para el cálculo de eficiencia en las concentraciones promedio de entradas (E) y salidas (S) de nutrientes en los sistemas experimentales se utilizó la ecuación descrita por Calvario-Martinez *et al.* (1998).

$$\text{Remoción} = \frac{E - S}{E} \times 100$$

Donde:

Remoción= Porcentaje de remoción en el sistema.

E= Concentración promedio de nutrientes que entra al sistema experimental.

S= Concentración promedio de nutrientes que salen del sistema experimental.

Esta ecuación nos permitió saber el porcentaje de remoción tanto del NID en los biofiltros con plantas y controles sin plantas con / sin alimento, como para el PO<sub>4</sub> (ortofosfato).



### 7.3. Integración de organismos al sistema

Los organismos de la primera familia Poeciliidae (Fig.5) fueron colectados en el Estero de Urías, en la zona de manglar y marismas. Para la colecta de los peces se utilizó una red con malla de nylon de 1.5 mm de luz de malla, de 70 cm de largo por 40 cm de ancho y 35 cm de fondo (área=0.28 m<sup>2</sup>), con un mango de 1.50 m de largo. Los organismos colectados fueron transportados en una hielera, para posteriormente ser confinados en el sistema (SSNM-IH). Para esto se utilizaron 8 tanques marca POLYPLAS de 450 litros. El suministro del alimento requerido por el pez por día fue de 1.02 g/tanque/día, la proporción de alimento es base al estudio realizado por Moroyoqui (2005), en el cual tenía colocado 150 org por tanque y el alimento que proporcionaba era 2.56 g/tan/día.

La dieta de los peces estuvo constituida por alimento balanceado marca WHISKAS, fue por que de alguna forma cumple con las expectativas de la nutrición de estos organismos (Moroyoqui, 2005). Como se ha mencionado este organismo se colocó en ambos tratamientos en el segundo tanque con 60 org/tan, con una talla inicial de 2 cm. Su adaptabilidad al sistema cerrado presentó un desarrollo productivo, por lo que las crías de ambos sistemas con/sin alimento se colocaron en un tercer tanque que correspondió al tratamiento sin alimento para que así mismo no hubiera alteraciones en los otros estanques.



Fig. 5.-Familia Poeciliidae

La segunda familia Lutjanidae que fue integrada al experimento (Fig. 6) fue colectada en el Estero de Urías, en la zona de manglar y marismas. La captura



se hizo con ayuda de un chinchorro con una luz de malla de  $\frac{3}{4}$  pulgadas. Los organismos colectados fueron transportados en una hielera al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

La aclimatación de estos organismos se llevó a cabo fuera de los sistemas disminuyendo la salinidad de 34ppm a 15ppm en un transcurso de siete días Chung K.S (2001), para posteriormente ser confinados en el sistema (SSNM-IH).

Para esto se utilizaron 4 tanques marca POLYPLAS de 450 litros, solo fueron colocados en los tratamientos que contaban con alimento. El suministro del alimento consistió en camarón y alimento vivo, en este caso se utilizó familia Poeciliidae. El fin de introducir esta especie en el experimento es saber si en un futuro puede ser cultivada en sistemas silvopescueros de mayor magnitud, con la ayuda de la integración plántulas en sistemas cerrados.



Fig.6.-*L. guttatus*.



#### 7.4. Crecimiento de plántulas de manglar en los biofiltros

El monitoreo del crecimiento de las plántulas en cada uno de los biofiltros se inició desde abril de 2006, debido a que fue el momento en que las plántulas de manglar rojo fueron colocadas en sus respectivos sistemas en donde la salinidad fluctuó desde 15 a 34 UPS.

Las mediciones del manglar rojo (*Rhizophora mangle*) se realizaron mensualmente a partir de la inserción del último brote de la hoja al meristemo de crecimiento, utilizando un Flexómetro de 3 m y escala de 0.1 cm.

#### 7.5. Variables físicas

En este apartado se consideraron las dos variables a manejadas en el experimento para explicar las variaciones que ocurrieron durante el mismo.

##### 7.5.1. Temperatura

Los registros de temperatura en el sistema experimental se monitorearon al momento de dar inicio con los respectivos muestreos. Para esto, se utilizó un termómetro de mercurio.

##### 7.5.2. Salinidad

Se trabajó con una salinidad de 15 ppm en el transcurso del experimento. Se realizó un monitoreo inicial al término de la primera recirculación y el siguiente se efectuó al terminar las recirculaciones, obteniendo así un promedio general con la suma de los dos datos obtenidos.

Para esto se utilizó un refractómetro portátil (0 a 100 UPS) marca ATAGO, (precisión de 0.1 UPS).



La salinidad fluctuó desde 34 a 15 UPS de mayo a julio de 2006 con el propósito de adaptar paulatinamente a los peces Poeciliidos, la salinidad óptima del manglar (15 UPS).

En el caso de los pargos, su aclimatación se dio fuera de los sistemas bajando la salinidad 5 pp hasta llegar a 15ppm, para después ser integrados a los sistemas, Chung K.S (2001).



## 7.6. Análisis de datos

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos y tomas de datos durante los **ciclo agosto a septiembre y el ciclo octubre a diciembre**, se elaboraron siete matrices las cuales pertenecían: dos a los nutrientes, dos a las medidas de los manglares, dos a los peces poeciliidos (con / sin alimento) y por último a la temperatura con el promedio general de todos los estanques por mes.

A los datos generados en el transcurso del experimento se utilizaron los promedios de las dos muestras tomadas por cada recirculación, para el NID se saco un promedio con la suma de (nitrito, nitrato y amonio) y PO<sub>4</sub> fue el promedio de las dos muestras obtenidas, después se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para datos no paramétricos de Kruskal-Wallis (Zar, 1996), los resultados se les aplicó un análisis de comparaciones múltiples de Tukey. Los análisis se realizaron mediante el paquete "STATISTICA". Fue necesario separar los resultados en dos grupos BM/ca, BC/ca (con alimento) y BM/sa, BC/sa (sin alimento). El criterio para tal división fue el alimento autóctono. Para detectar posibles diferencias en la concentración de nutrientes entre las remociones.

En el caso de las plántulas y peces, los resultados, que se presentan fueron obtenidos a partir de los promedios mensuales que fue la sumatoria entre numero de plantas ó peces medidos, esto nos permitió un mejor manejo al momento de graficar; igual que en los nutrientes cada uno se dividió con / sin alimento y posteriormente con los Poeciliidos se comparó el biofiltro con manglar y con alimento (BM/ca) vs biofiltro sin manglar y con alimento (BC/ca), y el tratamiento dos se comparó biofiltro con manglar y sin alimento (BM/sa) vs biofiltro sin manglar y sin alimento (BC/sa).

Se realizaron regresiones lineales con los resultados obtenidos de los



promedios a través del crecimiento en el caso de las plantas y longitud para los peces en los diferentes tratamientos.

Para obtener las posibles diferencias en el crecimiento en cada uno de los tratamientos se utilizó el Análisis del Residuo de la Suma de Cuadrados (ARSS por sus siglas en inglés) para datos no lineales (Chen *et al.* 1992). Este análisis simplemente verifica si dos o más rectas del mismo tipo son estadísticamente diferentes. Para esto se utilizaron cuatro pasos:

- 1) Para cada serie de datos  $i$ , se ajusta una recta y se calcula la suma de cuadrados residuales ( $RSS_i$  por sus siglas en inglés) y el grado de libertad asociado ( $DF_i$  por sus siglas en inglés).
- 2) El resultado de  $RSS_i$  y  $DF_i$  para cada recta es sumado para dar  $\sum RSS_i$  y  $\sum DF_i$ .
- 3) Se reúnen los datos para todas las rectas y una recta nueva se ajusta a los datos combinados y se calcula el total de la suma de cuadrados residuales y de los grados de libertad.
- 4) Con ayuda del programa Excel edición 2003 para Windows, F se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\frac{RSS_p - \sum RSS_i}{DF_p - \sum DF_i}}{\frac{\sum RSS_i}{\sum DF_i}} = \frac{\frac{RSS_p - \sum RSS_i}{3.(K-1)}}{\frac{\sum RSS_i}{N-3.K}}$$

Donde: F se refiere al estadístico F, con 3. (K-1) y (N-3.K) grados de libertad, K es



el número de rectas que están siendo comparadas, y N es el total o el tamaño de la muestra.

Habiendo encontrado diferencias, se aplicó la prueba Likelihood Ratio (Kimura, 1980) para saber entre que parámetros de la recta (pendiente u ordenada) hubo diferencias comparando los tratamientos. Esta prueba se realizó con la ayuda del programa Excel edición 2003 para Windows y se basa en la siguiente ecuación:

$$\chi^2_k = -N \times \ln \left( \frac{RRS_{\Omega}}{RRS_{\omega}} \right)$$

Donde k son los grados de libertad, N el número total de observaciones de ambas rectas combinadas,  $RRS_{\Omega}$  es la suma total de cuadrados residuales derivada de las rectas ajustadas y  $RRS_{\omega}$  es la suma total de cuadrados residuales derivada de las rectas. Se utilizó el software STATISTICA edición 2001 para Windows.



## 8. RESULTADOS

### 8.1. Porcentaje de la Remoción de Nutrientes

En la eficiencia de remoción de nutrientes determinadas en las dos temporadas, hubo variación de una manera descendente en general en los casos en el NID (nitrógeno inorgánico disuelto), así como en los ortofosfatos ( $PO_4$ ).

Tratamientos	Ago-Sep		Oct-Dic	
	NID	PO4	NID	PO4
BM/ca	74%	60%	72%	88%
BC/ca	50%	90%	53%	68%
BM/sa	83%	69%	61%	93%
BC/sa	39%	64%	61%	90%

Tabla 1. Porcentaje de eficiencia en la remoción de nutrientes durante agosto-septiembre y octubre-diciembre del 2006.

#### 8.1.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto

En el ciclo de agosto-septiembre, donde las remociones en ambos tratamientos se presentaron de manera significativa, observándose una eficiencia en BM/ca donde presentó remociones de NID de un 74%; mientras que en el control la remoción que presentó fue de 50%. Para el tratamiento sin alimento BM/sa la eficiencia fue de un 83%, y en el control (BC/sa), la remoción fue del 39% (Fig. 7).

El segundo ciclo de octubre-diciembre, el tratamiento BM/ca, presentó una eficiencia en su remoción del 72%, y para BC/ca este fue del 53% siendo significativo, para el segundo tratamientos sin alimento la eficiencia de remoción fue de 61%, demostrando que en los tratamientos BM/sa y BC/sa no se encontró diferencia significativa.

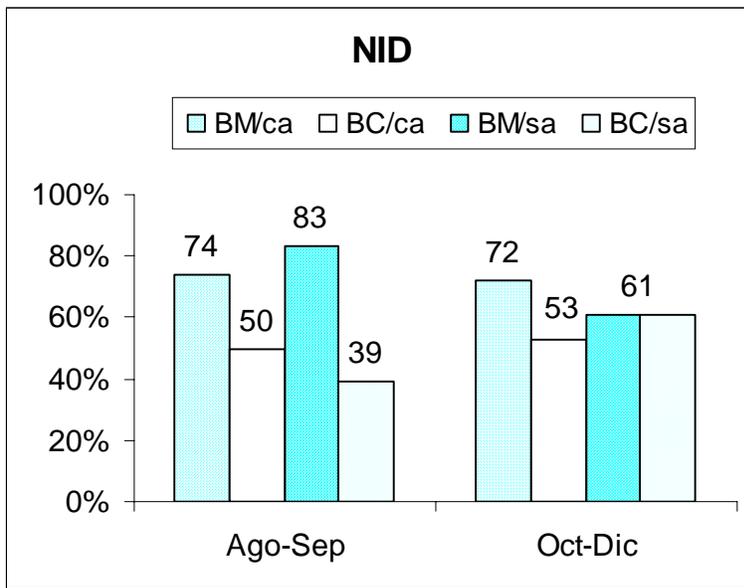


Fig. 7.-Porcentaje de eficiencia en la remoción de NID en los ciclos de agosto - septiembre y octubre - diciembre.

### 8.1.2. Ortofosfato

Las remociones durante el ciclo agosto-septiembre, en el tratamiento con alimento (BM/ca) fue del 60%, mientras para el control (BC/ca) la concentración de remoción fue del 90 % siendo significativa. En el segundo tratamiento sin alimento (BM/sa) presentó un porcentaje de remoción de 69%, registrándose en el control (BC/sa) un 64 %, demostrando que se encontró una diferencia significativa (Fig. 8).

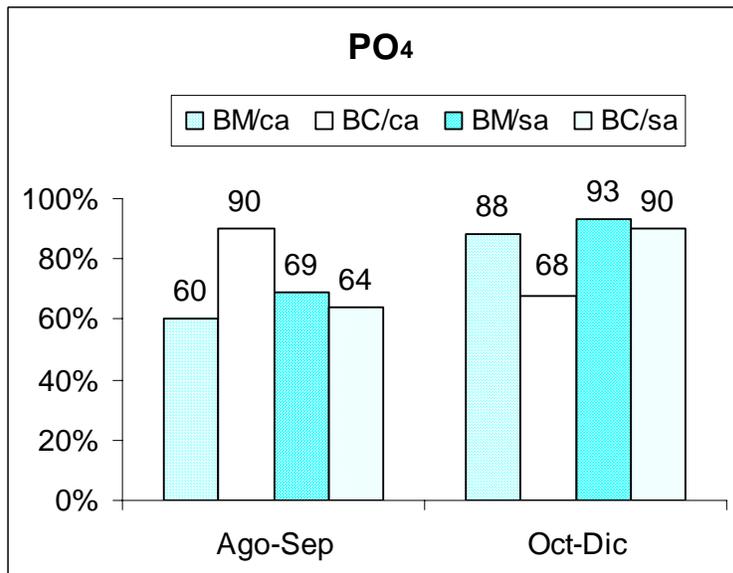


Fig. 8.-Porcentaje de eficiencia en la remoción de PO4 en los ciclos de agosto-septiembre y octubre -diciembre.



En los meses de octubre-diciembre, el tratamiento con alimento (BM/ca) removió un 88%, y en el caso del control (BC/ca) la remoción fue del 68% resultando ser significativa; para el segundo tratamiento sin alimento (BM/sa) este removió un total de 93%, y para el control (BC/sa) la remoción fue del 90 %, también presentó diferencia significativa ( $P \neq 0.05$ ).

## 8.2. Remoción de nutrientes en el ciclo agosto-septiembre.

Durante agosto-septiembre, se realizaron 4 ciclos en los cuales en cada uno de estos ciclos se llevaron a cabo 3 recirculaciones (1 recirculación igual a 12 horas).

### 8.2.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) con alimento

El NID para los sistemas con manglar y alimento (BM/ca), la concentración promedio inicial fue  $6.02 \mu\text{M}$ , y la concentración promedio final fue de  $1.58 \mu\text{M}$  obtenida a las 36 horas, se obtuvo una diferencia de concentración de  $4.44 \mu\text{M}$  (Fig. 9), por lo cual el porcentaje de remoción fue del 74%.

Los sistemas sin manglar y con alimento (controles) (BC/ca), tuvieron una concentración inicial (entrada) de  $7.45 \mu\text{M}$ . Al finalizar, después de 36 horas su concentración fue de  $3.75 \mu\text{M}$  (Fig. 9), removiendo una concentración de  $3.70 \mu\text{M}$ , equivalente a una remoción del 50%.



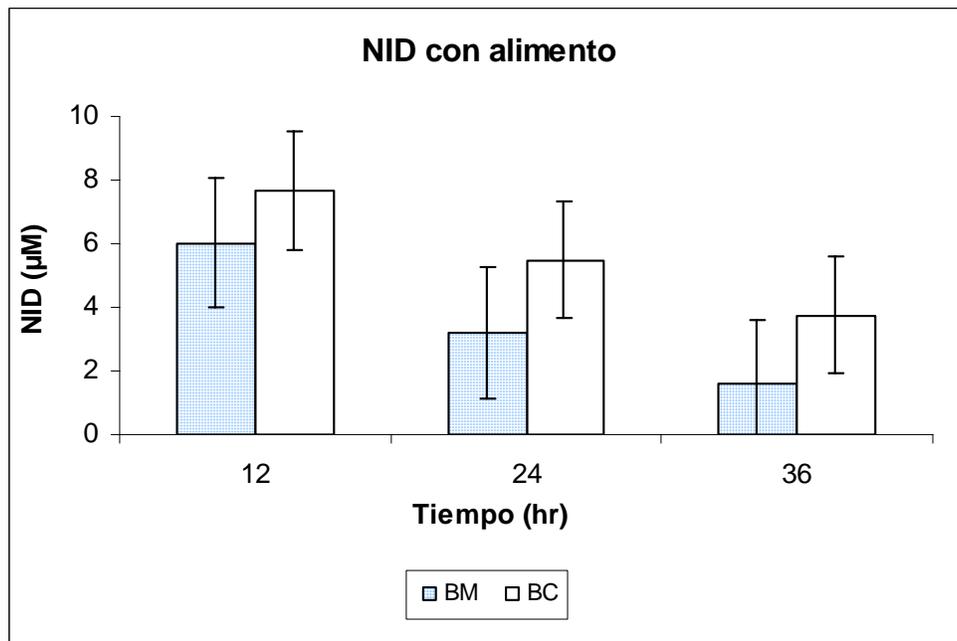


Fig. 9.-Variación de la concentración de NID, con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 3<sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr.

### 8.2.2. Ortofosfato (PO<sub>4</sub>)

La concentración promedio inicial de ortofosfatos para BM/ca fue 1.11 µM, a las 24 horas ascendió a 3.07 µM, y la concentración promedio final fue 0.44 µM, observándose una remoción de 0.67 µM (Fig. 10), por lo cual el porcentaje de remoción fue del 60 % con respecto a la concentración inicial.

En los controles (BC/ca) la entrada de este nutriente fue 10.6 µM, y después de 36 horas la salida fue de 1.01 µM, removiendo un nivel de concentración de 9.59 µM lo que equivale a una remoción del 90 %.



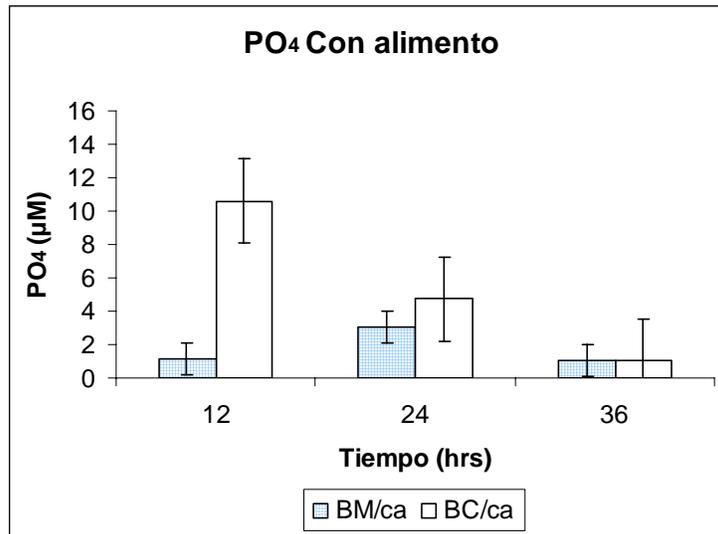


Fig. 10.-Variación de la concentración de  $PO_4$ , con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 3<sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr.

### 8.2.3. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) sin alimento

En los biofiltro con manglar y alimento (BM/sa), la concentración promedio inicial fue  $3.17 \mu\text{M}$ , a las 24 horas ascendió a  $3.78 \mu\text{M}$ , mientras la concentración promedio final fue de  $0.54 \mu\text{M}$ , dando como resultado una remoción total de  $2.63 \mu\text{M}$  (Fig. 11), equivalente a un porcentaje de remoción del 83 %.

En los controles sin manglar y alimento (BC/sa), la concentración promedio inicial fue  $3.03 \mu\text{M}$ , con una salida de  $1.86 \mu\text{M}$ , removiendo una concentración de  $1.17 \mu\text{M}$ , dando un porcentaje de remoción de 39%.



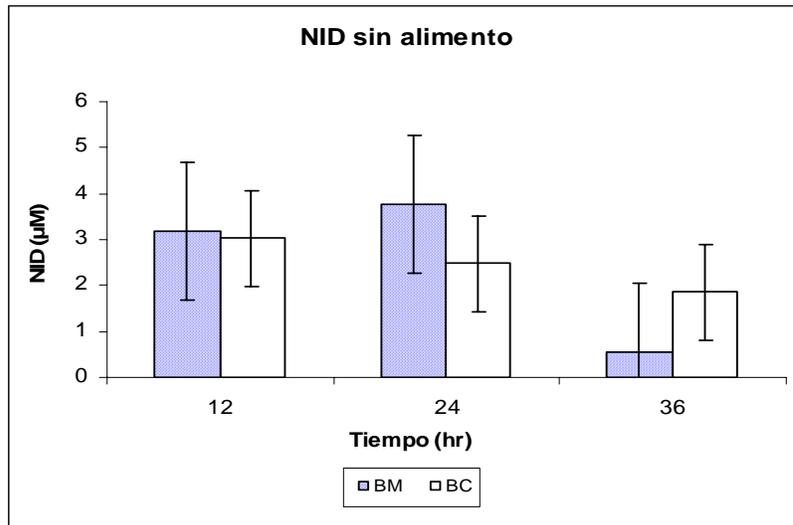


Fig. 11.-Variación de la concentración de NID, con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 3<sup>ra</sup> recirculación de agua en 36 hr.

#### 8.2.4. Ortofosfato (PO<sub>4</sub>)

La concentración promedio inicial de ortofosfatos en BM/sa fue de 0.83 µM, a las 24 horas ascendió a 2.50 µM, presentándose en la recirculación final una concentración promedio de 0.26 µM, la concentración que remoción fue 0.57 µM, lo cual el porcentaje de remoción fue 69 % (Fig.12).

En los controles BC/sa se obtuvo una concentración promedio inicial de 1.70 µM, a las 24 horas ascendió a 5.12 µM y la concentración promedio final fue 0.61 µM, lo que indica una remoción de 1.09 µM, lo cual el biofiltro control sin manglar y sin alimento presentaron un porcentaje de remoción del 64 %.



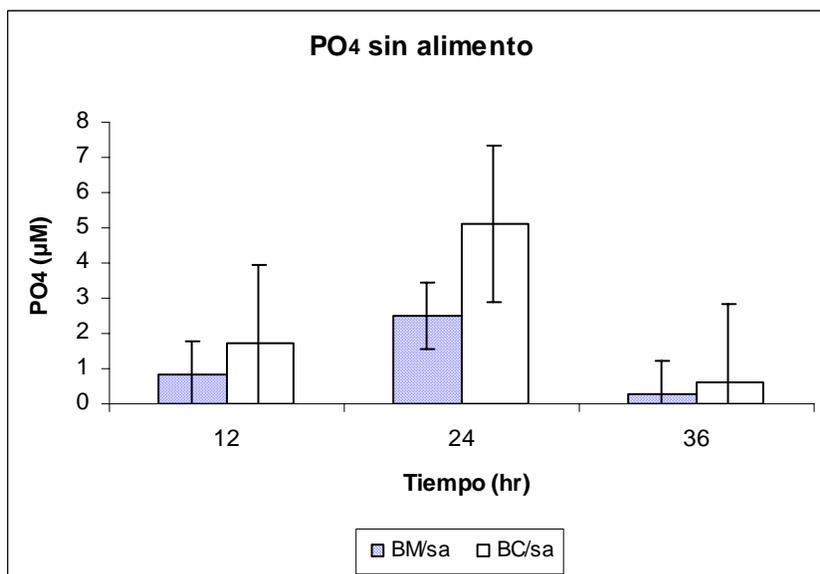


Fig. 12.-Variación de la concentración de PO<sub>4</sub>, con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin alimento y sin manglar (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 3<sup>ra</sup> recirculación de en 36 hr.

El resultado del análisis estadístico de Kruskal-Wallis mostró que obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos a un  $P \neq 0.05$  durante agosto-septiembre. Los resultados de la prueba a posteriori se muestran en la tabla 1 y se aplican en las Fig. 13 y 14.

Tabla 2. Resultados de las comparaciones múltiples de Tukey en los efectos de remoción de ambos tratamientos con sus respectivos controles durante agosto-septiembre.

Tratamientos	NID	PO <sub>4</sub>
BM/ca vs BC/ca	S	S
BM/sa vs BC/sa	S	S
BM/ca vs BM/sa	NS	NS
BC/ca vs BC/sa	NS	NS

Nota: Los valores de p nos indican los efectos significativos de remoción para la especie de manglar y el control.

**S\*** = muy significativo  $p < 0.01$       **S** = significativo  $p < 0.05$       **NS** = no significativo  $p > 0.05$

En el NID se presentó en los tratamientos con sus controles lo siguiente: El BM/ca fue significativamente mayor 1.48 veces con respecto al BC/ca; y BM/sa fue significativamente mayor 2.12 veces con respecto al BC/sa. En el PO<sub>4</sub> presentó que para BC/ca fue significativamente mayor 1.5 veces con respecto al



BM/ca; y BM/sa fue significativamente mayor 1.07 veces con respecto al BC/sa (estos datos fueron sacados de la división de porcentajes entre BC y BM de acuerdo al tratamiento).

En las figuras 13 y 14; se comparan los cuatro tratamientos que hay en NID y PO<sub>4</sub> en un mismo plano. Se pueden distinguir las diferencias notablemente entre un tratamiento y sus respectivos controles.

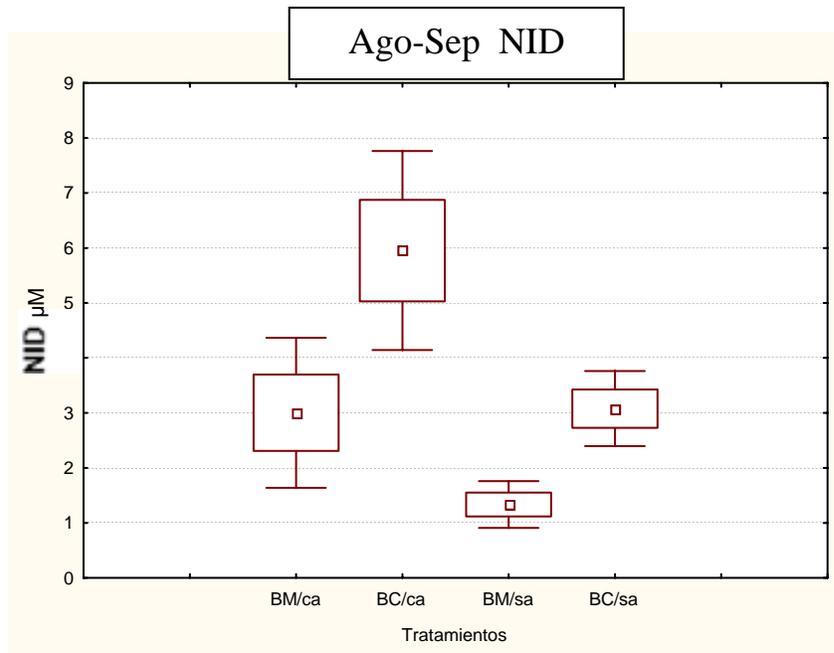


Fig. 13.-Variaciones de las concentraciones de NID, en agosto-septiembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento.

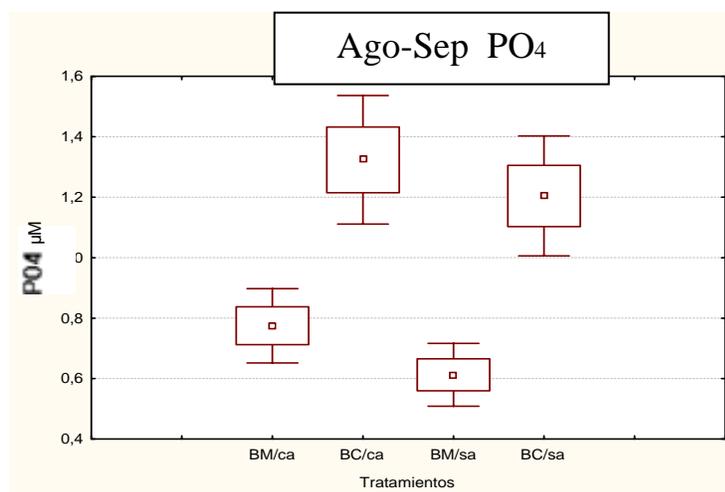


Fig. 14.- Variaciones de las concentraciones de PO<sub>4</sub>, en agosto-septiembre comparado los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento.



### 8.3. Remoción de nutrientes en el ciclo octubre-diciembre

En la temporada de octubre-diciembre; se realizaron 6 ciclos en los cuales en cada uno de estos ciclos se llevaron a cabo 4 recirculaciones.

#### 8.3.1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) con alimento

El NID para los sistemas BM/ca, la concentración promedio inicial fue de  $45.32 \mu\text{M}$ , a las 24 horas ascendió a  $45.41 \mu\text{M}$  y la concentración promedio final fue de  $12.73 \mu\text{M}$  al finalizar las 48 horas de recirculación, se obtuvo en el biofiltro manglar con alimento una remoción de  $32.59 \mu\text{M}$  (Fig. 15), con un porcentaje de remoción del 72 %.

Los sistemas controles sin manglar y con alimento (BC/ca), se tuvo una concentración inicial (entrada) de  $55.32 \mu\text{M}$ . Al finalizar, después de 48 horas la concentración de salida fue de  $26.25 \mu\text{M}$ , removiendo una concentración de  $29.07 \mu\text{M}$  (Fig. 15), equivalente a una remoción del 53%.

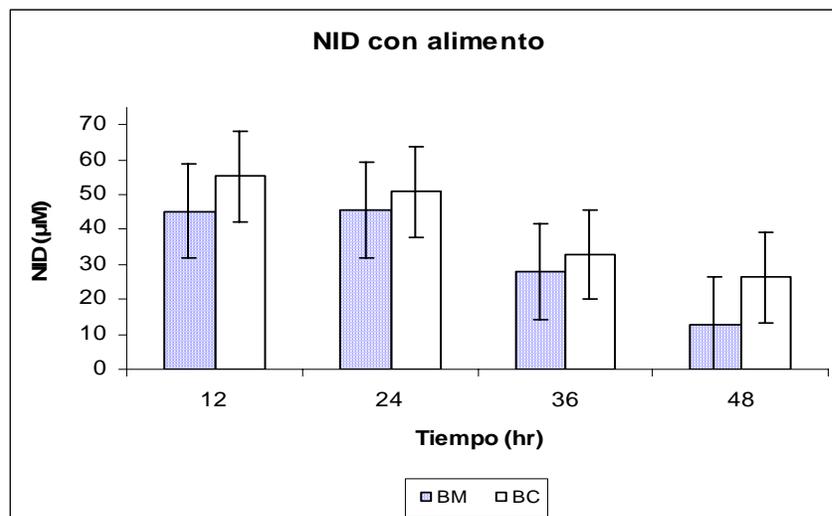


Fig.15.-Variación de la concentración de NID, con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 4<sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr.



### 8.3.2. Ortofosfato (PO<sub>4</sub>)

La concentración promedio inicial de ortofosfatos en BM/ca fue de 2.29  $\mu\text{M}$ , presentándose en la recirculación final una concentración promedio de 0.28  $\mu\text{M}$ , se obtuvo una remoción de 2.01  $\mu\text{M}$  (Fig. 16), lo cual el porcentaje de remoción fue 88 %.

En los controles (BC/ca), la entrada de los nutriente fue 2.49  $\mu\text{M}$ , y después de 48 horas la concentración promedio final fue de 0.80  $\mu\text{M}$ , removiendo un nivel de concentración de 1.69  $\mu\text{M}$  (Fig. 16), lo que equivale a una remoción del 68 %.

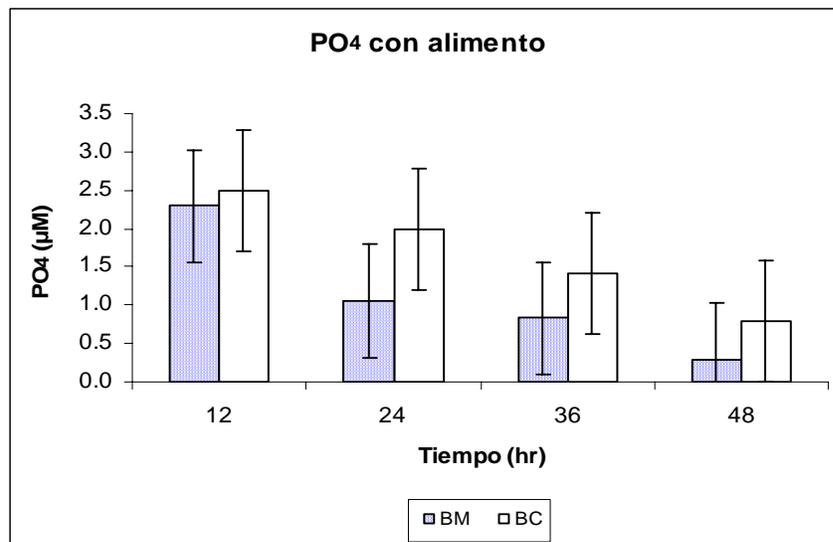


Fig.16.-Variación de la concentración de PO<sub>4</sub>, con alimento y con manglar (BM/ca), y el control con alimento y sin manglar (BC/ca), desde inicio (12 hr), hasta la 4<sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr.



### 8.3.3. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) sin alimento

La concentración de tratamiento BM/sa durante octubre -diciembre, tuvo una concentración promedio inicial de 19.24  $\mu\text{M}$ ; mientras la concentración final fue de 7.45  $\mu\text{M}$ , dando una remoción total de 11.79  $\mu\text{M}$  (Fig. 17), equivalente a un porcentaje de remoción del 61 %.

Los controles (BC/sa) presentaron una concentración promedio inicial de 22.42  $\mu\text{M}$ , con una concentración promedio final de 8.75  $\mu\text{M}$ ; removiendo una concentración de 13.67  $\mu\text{M}$  (Fig. 17), obteniendo un porcentaje de remoción de 61 %.

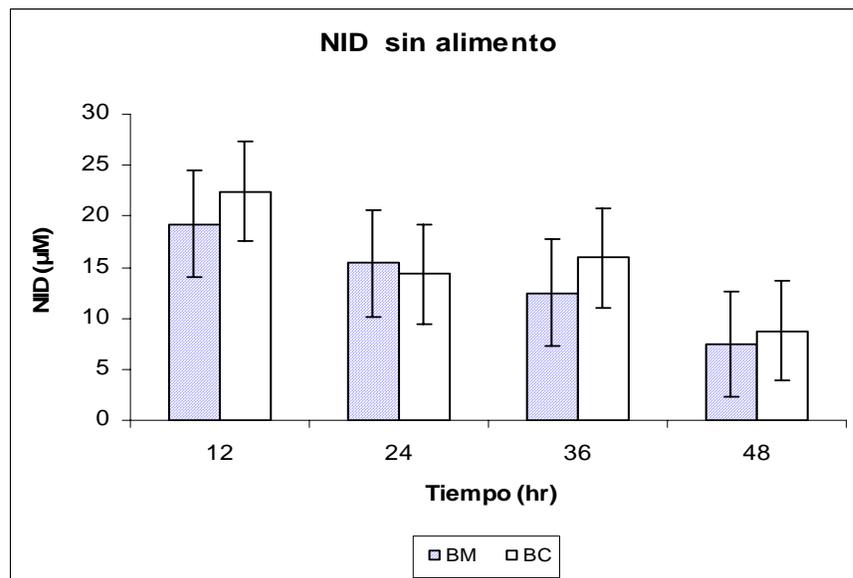


Fig. 17.-Variación de la concentración de NID, sin alimento y con manglar (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 4<sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr.



### 8.3.4. Ortofosfato ( $\text{PO}_4$ )

La concentración promedio inicial de ortofosfatos en BM/sa fue de  $1.28 \mu\text{M}$ , presentándose en la recirculación final una concentración promedio de  $0.09 \mu\text{M}$ , la concentración de remoción fue  $1.19 \mu\text{M}$  (Fig.18), lo cual el porcentaje de remoción fue 93 %.

En los controles BC/sa se midió una concentración promedio inicial de  $3.08 \mu\text{M}$ ; y la concentración promedio final fue  $0.32 \mu\text{M}$ , lo que indica una remoción de  $2.76 \mu\text{M}$  (Fig. 18), lo que equivale a una remoción del 90 %.

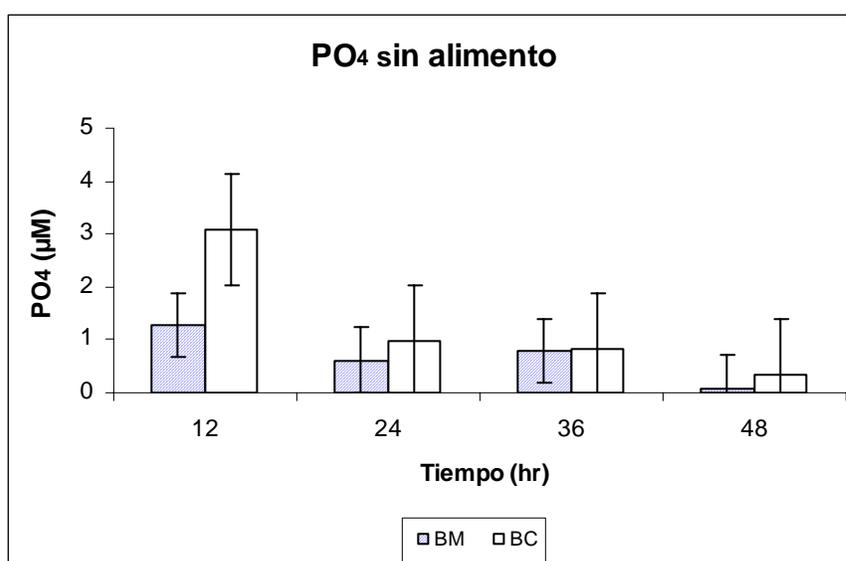


Fig. 18.-Variación de la concentración de  $\text{PO}_4$ , con manglar y sin alimento (BM/sa), y el control sin manglar y sin alimento (BC/sa), desde inicio (12 hr), hasta la 4<sup>ta</sup> recirculación de agua en 48 hr.

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis reveló que se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos a un  $P \leq 0.05$  durante octubre-diciembre. Los resultados de la prueba a posteriori se muestra en la tabla 2 y se aplica en las Fig. 19 y 20.



Tabla 3. Resultados de las comparaciones múltiples de Tukey en los efectos de remoción de ambos tratamientos con sus respectivos controles durante octubre-diciembre.

<b>Tratamientos</b>	<b>NID</b>	<b>PO<sub>4</sub></b>
BM/ca vs BC/ca	S	S
BM/sa vs BC/sa	NS	S
BM/ca vs BM/sa	S	S
BC/ca vs BC/sa	S	S

Nota: Los valores de p nos indican los efectos significativos de remoción para la especie de manglar y el control.

**S\* = muy significativo p<0.01      S = significativo p<0.05      NS = no significativo p>0.05**

En el NID se presentó en los tratamientos con sus controles lo siguiente: En BM/ca fue significativamente mayor 1.35 veces con respecto al BC/ca; y BM/ca fue significativamente mayor 1.20 veces con respecto al BM/sa; y los controles BC/ca fue significativamente mayor 1.15 veces con respecto al BC/sa, excepto en BM/sa y BC/sa.

En caso para PO<sub>4</sub> todos los comparaciones dieron significativamente diferentes: BM/ca es mayor 1.29 veces con respecto al BC/ca; en BM/sa es mayor 1.03 veces con respecto al BC/sa; con manglar BM/sa es mayor 1.06 veces con respecto al BM/ca y en sus controles BC/sa es mayor 1.32 veces con respecto al BC/ca.



En las figuras 19 y 20; se comparan los cuatro tratamientos que hay en NID y PO<sub>4</sub> en un mismo plano. Se puede distinguir las diferencias notablemente entre un tratamiento y sus respectivos controles.

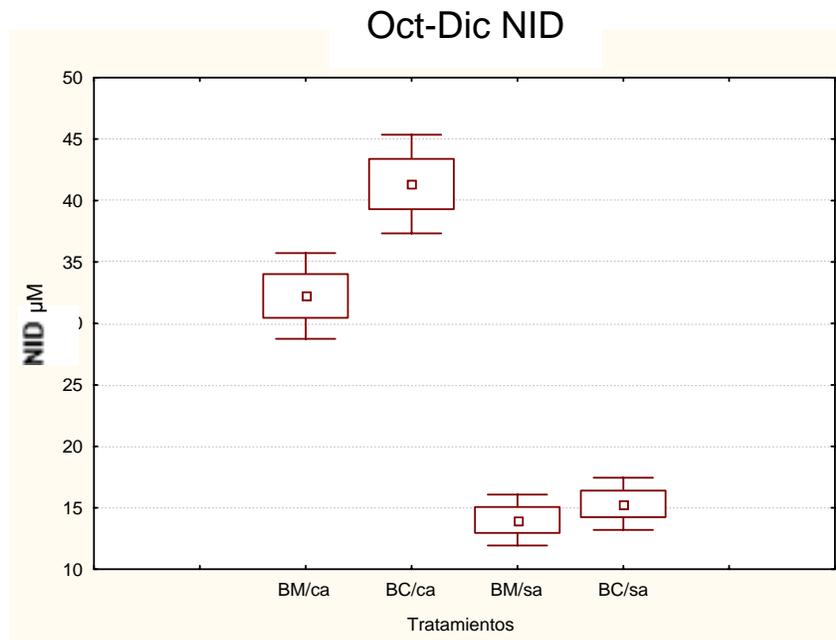


Fig. 19.-Variaciones de las concentraciones de NID, en octubre-diciembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento.

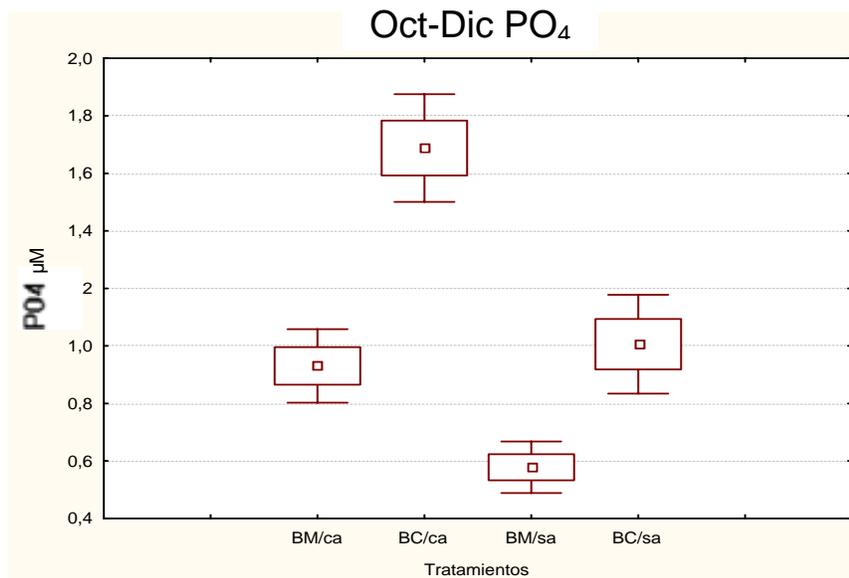


Fig. 20.-Variaciones de las concentraciones de PO<sub>4</sub>, en octubre-diciembre comparando los tratamientos (BM/ca) con manglar y con alimento, (BM/sa) sin manglar y alimento con su respectivo control (BC/ca) sin manglar y con alimento, (BC/sa) sin manglar y sin alimento.



## 8.4. Peces

Para la familia Poeciliidae, se realizó un ciclo completo para evaluar el crecimiento y sobrevivencia de estos organismos, suponiendo que a los 5 meses alcanzan un máximo crecimiento de 5 cm aproximadamente ( $1 \text{ cm mes}^{-1}$ ).

En el caso de los carnívoros (pargos) que fueron introducidos en los sistemas con alimento en los meses de agosto a diciembre, con la finalidad de saber si podrían contar con una calidad de agua adecuada, los resultados obtenidos fueron que los cuatro pargos que se encontraban suministrados con alimento en este caso con peces poeciliidos y camarón, solo quedaron tres ellos al finalizar con el experimento.

### 8.4.1. Crecimiento de peces Poeciliidos con / sin alimento

En el tratamiento con alimento los peces poeciliidos, presentaron al inicio una talla promedio de 1.04 cm; resultando que por mes presentaba un crecimiento promedio de  $0.59 \text{ cm mes}^{-1}$  (Fig. 21).

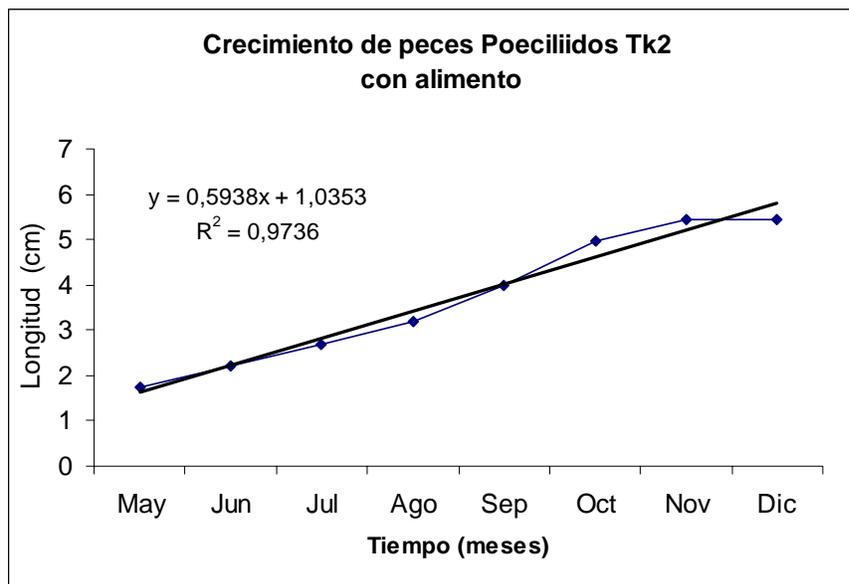


Fig. 21.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk 2 con alimento.



De acuerdo a los resultados obtenidos, en los meses de mayo a diciembre, estos organismos, alcanzaron un crecimiento promedio de 5 cm (al sexto mes); cabe mencionar que se registraron peces de 6 cm en los dos últimos meses y aceptaron el alimento Whiskas, como alimento balanceado durante el experimento.

En el caso de los tratamientos sin alimento, los organismos se presentaron un crecimiento promedio de 0.46 cm mes<sup>1</sup>, durante los ocho meses (Fig. 22).

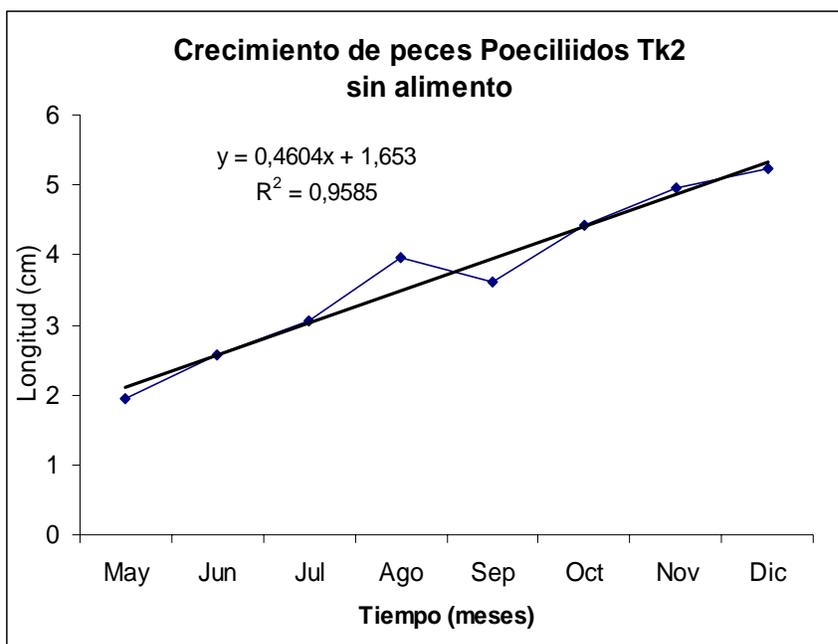


Fig. 22.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk 2 sin alimento.

En la curva de crecimiento para los Poeciliidos con alimento se estimó un ajuste de 97 % de significancia, para los organismos sin alimento el ajuste en su curva de crecimiento fue del 96 % de significancia. Con la ayuda de comparación de curva de crecimiento, el cual se aplicó a las pendientes, las cuales fueron resultado del crecimiento promedio durante los ocho meses. Los resultados el análisis aplicado presentó que el valor de  $F(5,13)=0.25$ ,  $P>0.05$ , por lo tanto se dice que no obtuvo diferencia significativa en los sistemas con / sin alimento.



#### 8.4.2. Crecimiento de peces Poeciliidos el TK 3 sin alimento

Con respecto al tanque 3 (TK3) que corresponde a los sistemas sin alimento, fueron colocadas las crías de los sistemas con / sin alimento del TK2 a partir de junio, con la finalidad de no alterar el número de organismos que fueron colocados en los otros tanques.

La prueba de comparación de curva de crecimiento, para el TK3 sin alimento con respecto a los TK2 con / sin alimento, y tomando en cuenta su crecimiento promedio que obtuvieron en el transcurso del experimento los cuales fueron de: 0.74, 0.59 y 0.46 cm mes<sup>-1</sup>. Los análisis aplicados presentaron que  $F(4,12)=2.05$ ,  $P>0.05$ , lo que se dice que no obtuvo diferencia significativa en los sistemas Tk3 sin alimento y TK2 con alimento. En la siguiente comparación entre TK3 y TK2 sin alimento resultó que  $F(4,12)=0.01$ ,  $P<0.05$ , por lo tanto se presentó una diferencia significativa en ambos tanques sin alimento. El ajuste de la curva de crecimiento para el TK3 fue del 97 % de significancia (Fig.23).

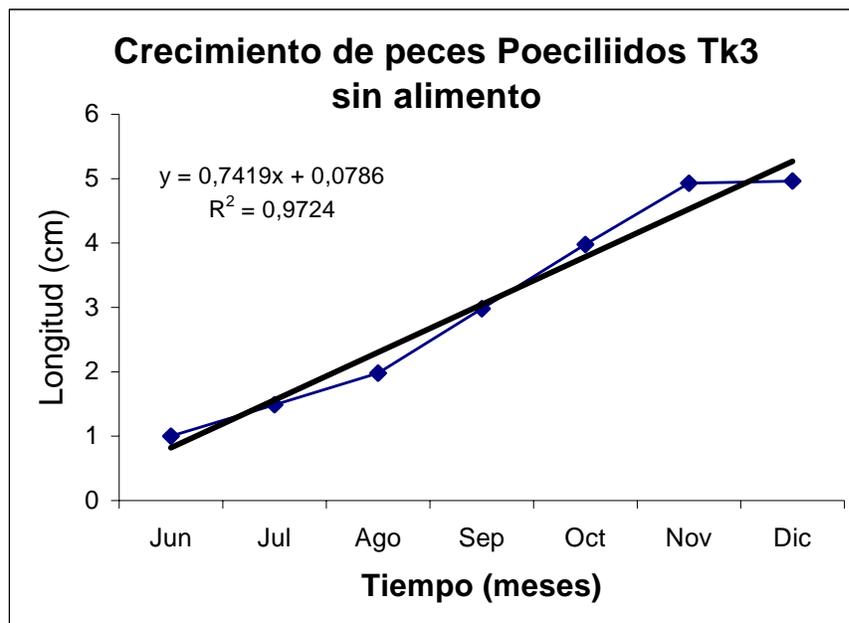


Fig. 23.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos del Tk 3 sin alimento.



En los tratamientos con alimento, el TK3 contenía un pez Carnívoro, el cual su papel a desempeñar en los sistemas fue formar parte una cadena trófica, y que sobreviviera durante el experimento, por lo que su alimentación fue basada con poeciliidos vivos y camarón, fueron aceptados por el organismo. Como resultado se obtuvo que los carnívoros si vivieron en el transcurso de los cinco meses de muestreo, excepto un control que duro solo cuatro meses.

#### 8.4.3. Crecimiento de Poeciliidos con y sin *R. mangle*

El tratamiento con alimento y con manglar (BM/ca), los poeciliidos presentaron un crecimiento promedio de 0.56 cm; resultando que por mes presentaba un crecimiento promedio de 0.69 cm mes<sup>-1</sup> (Fig. 24), para su control sin manglar (BC/ca) el crecimiento promedio es de 0.50 cm mes<sup>-1</sup>(Fig. 25).

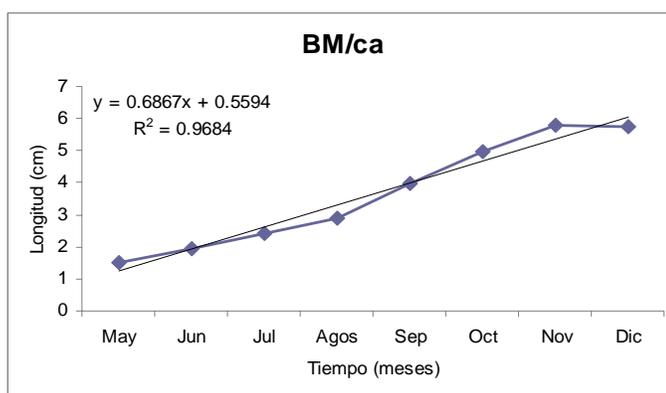


Fig. 24.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos con manglar y con alimento (BM/ca).

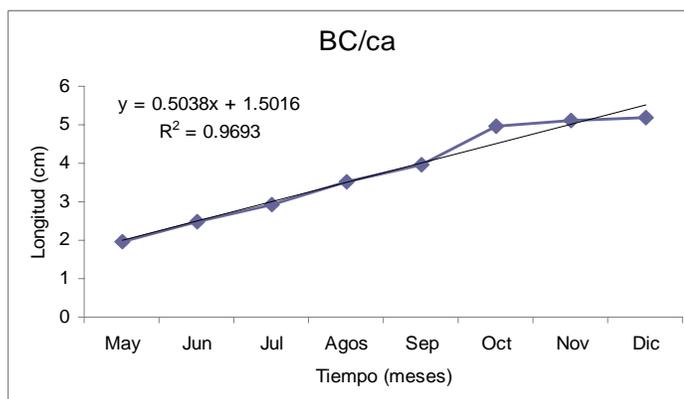


Fig. 25.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poecilidos sin manglar y con alimento (BC/ca).



El tratamiento sin alimento y con manglar (BM/sa), los poeciliidos presentaron al inicio un crecimiento promedio de 1.66 cm; presentando un crecimiento promedio de 0.54 cm mes<sup>-1</sup> (Fig. 26), para su control sin manglar (BC/sa) al inicio presentaron un crecimiento promedio de 1.62 cm, finalizando con un crecimiento promedio de 0.38 cm mes<sup>-1</sup>(Fig. 27), durante los ocho meses.

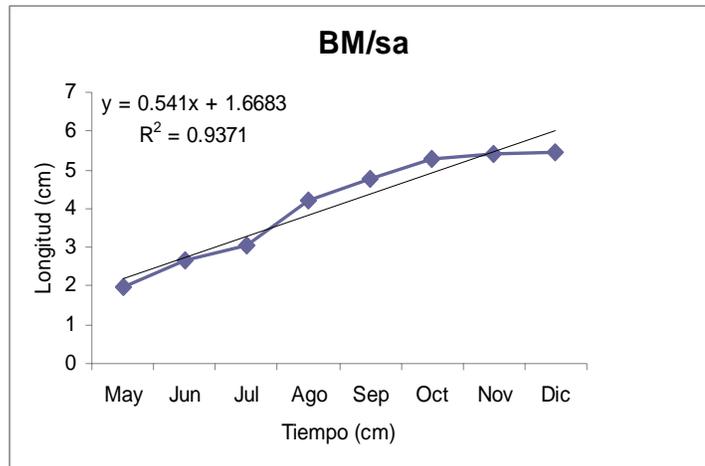


Fig. 26.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos con manglar y sin alimento (BM/sa).

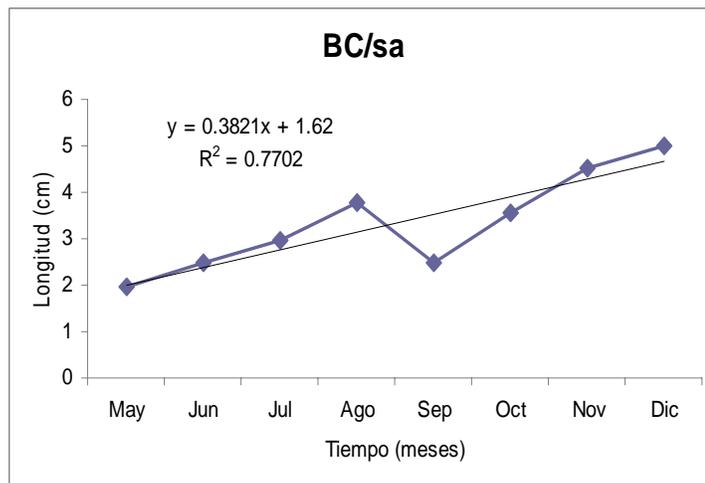


Fig. 27.-Curva de incremento en el crecimiento de peces Poeciliidos sin manglar y sin alimento (BC/sa).



En la curva de crecimiento para los Poeciliidos con alimento con y sin manglar (BM/ca y BC/ca) se estimó un ajuste de 97%, con comparación de curva de crecimiento, el cual se aplicó a las pendientes el análisis aplicado presentó que el valor de  $F(5,13)=0.8 \times 10^{-4}$ ,  $P < 0.05$ , se obtuvo diferencia significativa en la utilización del manglar. Los tratamientos sin alimento con manglar (BM/sa) el ajuste fue de 94 % y sin manglar (BC/sa) el ajuste fue de 77 % de significancia; al comparar las pendientes el análisis presentó que el valor de  $F(5,13)=0.41$ ,  $P > 0.05$ , por lo tanto se dice que no se obtuvo diferencia significativa.

### 8.5. Crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle*

Su monitoreo inició en abril al haber desarrollado su sistema de raíces, las cuales utilizaron las plantas para la incorporación de nutrientes.

#### 8.5.1. Crecimiento de *R. mangle* con / sin alimento

De acuerdo a los resultados encontrados en plántulas de *Rhizophora mangle* con alimento, las cuales presentaron un crecimiento promedio de 1.78 cm  $\text{mes}^{-1}$ , durante los nueve meses; ya que al inicio se registró un crecimiento promedio de 0.31 cm  $\text{mes}^{-1}$  (Fig.28).

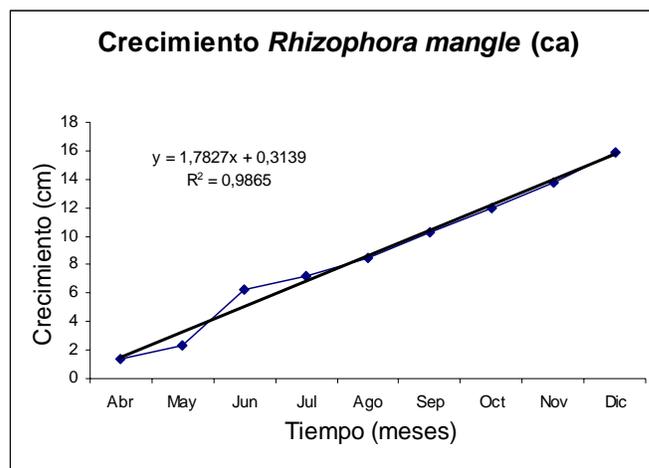


Fig. 28.-Curva de crecimiento de plántulas de *R. mangle* con alimento.



En el caso de los sistemas de sin alimento, crecimiento promedio inicial de las plántulas de manglar fue de  $0.29 \text{ cm mes}^{-1}$ , y en el transcurso de los nueve meses, crecimiento promedio fue de  $1.66 \text{ cm mes}^{-1}$ , el cual se observa en la Fig. 29.

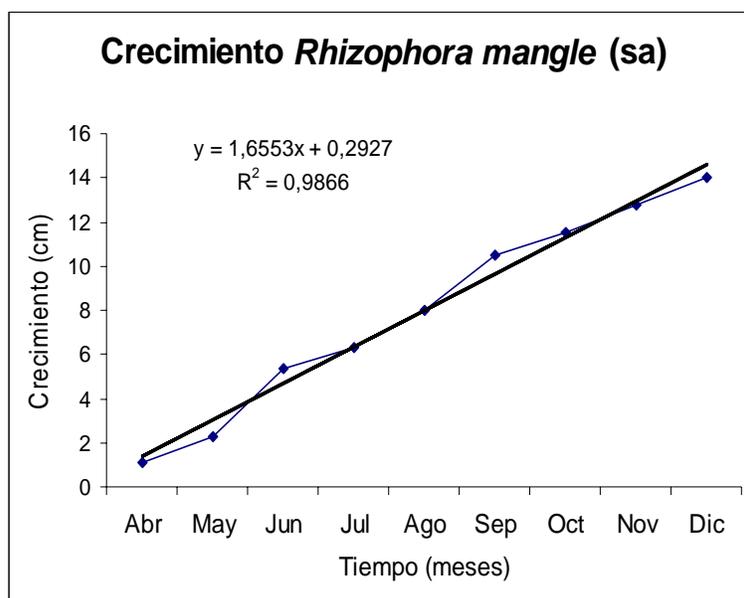


Fig. 29.-Curva de crecimiento de plántulas de *R. mangle* sin alimento.

En la curva de crecimiento para *R. mangle* en ambos tratamiento con / sin alimento se estimó un ajuste de 99% de significancia (Fig. 28 y 29). Con la ayuda del análisis de comparación de curva de crecimiento; el cual se aplicó a las pendientes, obtenidas del crecimiento promedio durante los nueve meses, se observó como resultado que el valor obtenido fue de  $F(6,15)=2.20 \times 10^{-14}$ ,  $P < 0.05$ ; el cual se obtuvo diferencia significativa en ambos tratamientos.



## 8.6. Salinidad-Temperatura en el sistema experimental

El experimento inició con una salinidad de 35 ppm, la cual se bajo hasta 15 ppm de mayo a junio para iniciar las recirculaciones en agosto. En algunos meses se presentaron salinidades de 16 a 17 ppm en julio y agosto; mientras en septiembre bajó la salinidad hasta 10 ppm, por algunas lluvias; en los siguientes meses se mantuvo la salinidad a 15 ppm hasta finalizar el experimento.

Para la temperatura en el sistema experimental se comportó de manera ascendente en los primeros cinco meses, después fue bajando. La temperatura más alta se registró en agosto con 29°C y la más baja fue en diciembre con 23°C (Fig. 30).

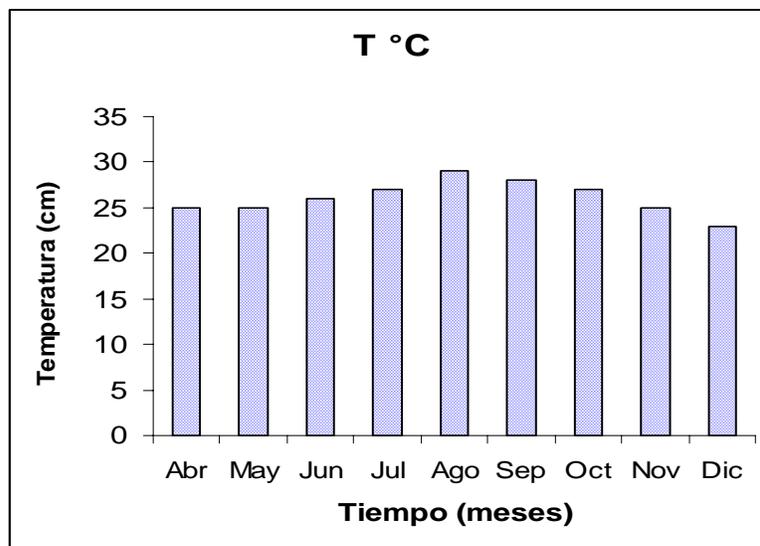


Fig. 30.-Variación de la temperatura en el sistema experimental.





## 9. DISCUSIÓN

### 9.1. Remoción de NID

Durante los cinco meses del experimento, se encontró que los Biofiltros con manglar presentaron remociones del NID significativamente mayores que en los biofiltros sin manglar (controles) variando del 72 al 83% y del 39 al 53%, respectivamente; con excepción de un caso: Biofiltro con manglar y sin manglar sin alimento (BM/sa y BC/sa) en el ciclo de octubre-diciembre donde se presentaron las mismas tasa de remoción (61%). La eficiencia de remoción del NID con manglares fue desde aproximadamente 1.4 a 2.1 veces mayor que en los sistemas sin manglar (controles) es decir desde un 50 a un 200% más eficientes.

Los biofiltros con manglar con y sin alimento no mostraron diferencia significativa en la remoción del NID en el ciclo de agosto-septiembre a diferencia del ciclo octubre-diciembre donde el biofiltro con manglar con alimento (BM/ca) fue 1.2 veces mayor (72%) que sin alimento (61%).

Los biofiltro sin manglar con y sin alimento (BC/ca y BC/sa) tampoco mostraron diferencia significativa en el ciclo agosto-septiembre y solamente en el ciclo de octubre-diciembre mostraron una diferencia en biofiltro sin alimento BC/sa (61%) 1.15 veces mayor que con alimento BC/ca (53%).

### 9.2 Remoción de $PO_4$

En el caso de la remoción del  $PO_4$ , los Biofiltros con manglar resultaron significativamente mayores que los biofiltros sin manglar variando del 69 al 93% y del 64 al 90% respectivamente excepto para el caso del Biofiltro con manglar (BM/ca) y sin manglar (BC/ca) con alimento en el ciclo agosto-septiembre donde el biofiltro sin manglar (BC/ca) removi6 el 90% de los fosfatos a diferencia del 60% para el Biofiltro con manglar (BM/ca) resultando el BC/ca 1.5 veces significativamente mayor que al biofiltro con manglar (BM/ca). Esto se atribuyo a



que la concentración inicial del fosfato en el biofiltro sin manglar fue inusualmente elevado ( $10.6 \mu\text{M}$ ) en comparación con  $1.11 \mu\text{M}$  del BM/ca y probablemente el exceso de este nutriente estimuló su remoción.

La remoción de  $\text{PO}_4$  entre los biofiltros con manglar con y sin alimento (BM/ca y BM/sa) así como entre los biofiltros sin manglar con y sin alimento (BC/ca y BC/sa) resultó significativamente diferente en el ciclo octubre-diciembre. El biofiltro con manglar sin alimento (BM/sa) presentaron una tasa de remoción del 93%, correspondiendo a 1.06 veces mayor que el biofiltro con manglar con alimento (BM/ca = 88%). Con respecto a los biofiltros sin manglar, el biofiltro sin alimento (BC/sa = 90%) fue 1.32 veces mayor que el biofiltro con alimento (BC/ca = 68%). En éstos casos la adición de alimento probablemente sobrepase la eficiencia de remoción de los biofiltros en el ciclo octubre-diciembre, sin embargo estas diferencias son mínimas lo que se ve apoyado por la ausencia de diferencias significativas durante agosto-septiembre.

Así tenemos que para (BM/ca) el porcentaje de remoción fue de 60 % con manglar, y sin manglar para su control (BC/ca) el porcentaje de remoción total fue de 90 %, lo cual revisando los datos de concentración promedio de entrada del biofiltro con plántulas presentaron una entrada de  $1.11 \mu\text{M}$  y una salida de  $0.44 \mu\text{M}$ . El control presento una mayor entrada de  $10.6 \mu\text{M}$  y una salida de  $1.01 \mu\text{M}$ , con una remoción para el primer caso de  $0.67 \mu\text{M}$  y el segundo  $9.59 \mu\text{M}$ , presentando un mayor porcentaje de remoción en el control sin manglar (BM/ca < BC/ca).

A diferencia del segundo tratamiento sin alimento, las pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis y las pruebas para saber si había diferencia entre los tratamientos realizadas por Tukey, mostraron que si existe una diferencia significativa. El porcentaje de remoción total para BM/sa fue de 93 % con manglar, y sin manglar para su control BC/sa el porcentaje de remoción total fue de 90 %, dando una diferencia del 3 % se podía decir que hay dispersión de datos.



### 9.3. Crecimiento de peces Poeciliidos con / sin manglar

Las tasa de crecimiento de los alevines variaron de 0.46 a 0.59 cm mes<sup>-1</sup> sin encontraron diferencias significativas entre los alevines con alimento y sin alimento. Aparentemente el manglar, en particular el sistema hidropónico de raíces provió de los requerimientos nutricionales equivalentes a los alevines en los biofiltros sin alimento.

Los nueve meses los organismos, presentaron al inicio del experimento un crecimiento promedio diferentes por tratamiento: Tk2 con alimento fue de 1.03 cm, Tk2 sin alimento fue de 1.65 cm y Tk3 sin alimento fue de 0.07 cm, resultando que por mes presentaban un promedio de crecimiento de 0.46 a 0.74 cm mes<sup>-1</sup>, al comparar los tratamientos entre si, se obtuvo que la única que presento diferencia fue TK2 sin alimento vs TK3 sin alimento, que fue de 0.28 cm mes<sup>-1</sup>.

A diferencia de otros peces, el cultivo de Poeciliidos implica muy pocos problemas, pero el que su crianza sea sencilla no quiere decir que se realice de manera correcta, la presencia de una sustancia puede causar stress y esto provocaría una enfermedad en el organismo.

En particularmente en el caso del tratamiento con alimento y con manglar (BM/ca) los resultados presentaron un crecimiento promedio de 0.69 cm mes<sup>-1</sup> y para el control sin manglar (BC/ca) fue de 0.50 cm mes<sup>-1</sup>; mientras en el tratamiento sin alimento y con manglar (BM/sa), se encontró un crecimiento promedio que fue de 0.54 cm mes<sup>-1</sup> y para el control sin manglar el crecimiento promedio (BC/sa) fue de 0.38 cm mes<sup>-1</sup>.

Al comparar cada tratamiento con su control, se obtuvo que con alimento y con manglar (BM/ca) teniendo una diferencia de 1.36 veces mayor con respecto al control sin manglar y sin alimento (BC/ca). En los sistemas con manglar y sin



alimento (BM/sa) fue significativamente mayor 1.42 veces con respecto al control sin manglar y sin alimento (BC/sa).

#### 9.4. Crecimiento de Plántulas de *R. mangle*

En nuestro trabajo realizado la asimilación de nutrientes por las plántulas en ambos tratamientos con / sin alimento tuvo un ajuste de 99 % de significancia. En el tratamiento con alimento, presento al inicio un crecimiento promedio de 1.78 cm mes<sup>-1</sup> comenzando en el mes de abril, y el segundo tratamiento sin alimento, presento un crecimiento promedio de 1.66 cm mes<sup>-1</sup>.

En los análisis aplicados se demostró que se obtuvo diferencia entre ambos, resultando que el manglar con alimento fue 0.13 veces mayor que sin alimento.

#### 9.5. NID (Nitrógeno Inorgánico Disuelto)

En sistemas cerrados Káiser y Wheaton (1981), mencionan que la incorporación de humedales seminaturales ayuda a remover las formas nitrogenadas en cultivos de peces. Los estudios realizados por Neori *et al.* (1991), Robertson y Phillips (1995), demuestran que los filtros biológicos (con plantas) son eficientes removiendo amonio tóxico y fósforo a lo largo de un año, bajo las condiciones de alta incidencia de luz y temperatura.

Coincidiendo con lo encontrado en este estudio se obtuvo un porcentaje de remoción del NID del 72% (BM/ca) al 83% y (BM/sa) en los biofiltros con manglar. En el caso de los controles de 39 % (BC/sa) al 61 % (BC/sa)

Yang *et al.* (2001), construyeron un humedal seminatural con flujo de agua subsuperficial (SSF), observando que el NID fue removido en un 91% y para su control fue de 43%, valores dentro del intervalo de los biofiltros sin manglar aunque ligeramente por arriba con respecto a este estudio. Esto es de esperarse



debido a que los sistemas subsuperficiales son más eficientes que los hidropónicos (FWS). El trabajo realizado por Moroyoqui (2005), estudio dos plántulas utilizando cultivo hidropónico, demostrando una eficiencia en la remoción de NID con *R. mangle* es de 89% para el verano y 71 % para invierno, sus controles removieron 52% para verano y en invierno de 35 % ; coincidiendo con los resultados manifestados por Lin *et al*: (2002), en humedales sobre los sistemas de tratamiento de agua residual, obtuvieron una remoción total de NID 78 % , realizando otro estudio en 2003 sobre humedales seminaturales con recirculación de agua en sistemas de cultivo presentando un porcentaje de remoción de NID de 70.6 %, en el control un 49.8%. Lane *et al*: (2003) reportaron un 55 % en remoción en tratamientos sin plantas. Lo anteriormente mencionado se puede corroborar lo encontrado en este estudio, que los biofiltros con plántulas realizaron una favorable remoción de nutrientes en los meses de agosto-septiembre.

En realidad, cabe aducir que el tratamiento sin manglar y sin alimento (BC/sa) en el ciclo octubre-diciembre presentaron el mismo porcentaje de remoción con respecto a biofiltro con manglar y sin alimento (BM/sa), esto se le atribuyo a las altas concentraciones del amonio en el agua que proporcionan el enriquecimiento de nutriente de los sistemas de agua y el aumento subsecuente en actividades biológicas que condujeron a la floración alga (Spieles y Mitsch, 2000), el cual requiera nutrientes para su estabilidad en el sistema así que de cierta forma suplió al manglar haciendo el trabajo de remoción.

#### 9.6. PO<sub>4</sub> (Ortofosfatos)

El fósforo es un factor limitante para la productividad de los ecosistemas ya que es absorbido por las plantas que lo incorporan a las diferentes moléculas orgánicas, quedando de esta forma incluido en el conjunto de redes tróficas de los sistemas ecológicos (Ramade y Mdash, 1977).

De acuerdo con la investigación de Lekang *et al*: (2000), describen que la



remoción de fósforo implica procesos rápidos de absorción y las reacciones químicas más lentas que conducen a la formación de una fase sólida del fosfato.

En este estudio la remoción de fosfato osciló del 60% (BM/ca) al 93% (BC/sa). Hunter *et al.* (2001) obtuvieron una remoción en un sistema con ayuda de *Scirpus validus* (Tule) de 74 % para ortofosfatos.

Brown *et al.* (1999), observaron que la remoción de fosfatos en los efluentes de la acuicultura, es del 84 % y Yang *et al.* (2001) obtuvieron 52 % utilizando halofitas, estos resultados son menores con respecto a lo obtenido en el ciclo octubre-diciembre que fueron mayores del 80 %. En otros casos presentamos porcentajes mucho menores a los encontrados en el estudio, para Moroyoqui (2005) el sistema con *R. mangle* removió en invierno 36 % y en verano reportó 39 %. Greenwan y Woolley (1999), utilizaron un humedal removiendo 39 % y Lin *et al.* (2002) obtuvieron 32.1 %, estos porcentajes son dos veces menores que los encontrados en este estudio.

En este estudio se presentaron concentraciones elevadas de remoción para ortofosfato incluso en los controles, como en el caso de con alimento (BC/ca) se observó un remoción en agosto-septiembre de 90 % y en los meses de octubre-diciembre fue de 68 %. En el caso sin alimento (BC/sa) el porcentaje fue de 64 % para agosto-septiembre y en octubre-diciembre fue de 90%.

Sin embargo Ye *et al.* (2001), mencionan que los ortofosfatos son marcadamente más bajos respecto a las formas nitrogenadas, mientras en nuestro estudio se observa lo contrario en mayoría de los tratamientos. Según Debusk *et al.* (2000), afirma que las altas remociones de ortofosfatos se pueden obtener utilizando humedales de tratamiento con flujo superficial (FWS), sin embargo considera que el suelo mismo es responsable de la mayoría de retiro del fósforo de las aguas residuales.



Por lo que Kadlec (1997), opina que el fósforo interactúa fuertemente con la biota y el humedal. Las investigaciones de Lantzke *et al.*: (1998) indican que hay tres caminos para la remoción: absorción por el sustrato, proceso de la microflora y remoción de macrofitas resultando esta última la de menor magnitud.

El fosfato se absorbe fácilmente por partículas y por lo tanto, solamente un porcentaje muy pequeño del fósforo del suelo está disponible para las plantas, que va ser tomado a través del activo proceso de la raíz (pelos radicales) (Sorrell y Orr, 1993).

### 9.7. Peces Poeciliidos con / sin *R. manglar*

Moroyoqui (2001), observó que dichos organismos alcanzan su madurez sexual a los 3 cm de longitud en condiciones óptimas de salinidad y temperatura (15-34 ppm y 19-32°C) y su máxima longitud es de 5 cm.

En el caso del tratamiento con manglar y con alimento (BM/ca) nuestros resultados presentaron un crecimiento promedio de 0.68 cm mes<sup>-1</sup> y para el control (BC/ca) el crecimiento promedio fue de 0.50 cm mes<sup>-1</sup> de ahí hasta el sexto mes alcanzó lo descrito por Moroyoqui (2001). En los dos últimos meses de colecta de datos se encontraron que los Poeciliidos pueden crecer más de 5 cm, esto se debe a que lo principal de un sistema de recirculación es el manejo del tratamiento de agua, según Jiménez y Balcázar (2003). Por otro lado Páez-Osuna (2001), menciona que la principal entrada de nutrientes (N-P) a los sistemas de cultivos de camarón está dado principalmente por el alimento balanceado y en segundo término los desechos de los organismos.

Mientras en el tratamiento con manglar y sin alimento (BM/sa), se encontró un crecimiento promedio que fue de 0.54 cm mes<sup>-1</sup> y para el control el crecimiento promedio sin manglar y sin alimento (BC/sa) fue de 0.38 cm mes<sup>-1</sup>, lo que implica que de alguna manera las plántulas ayudaron al sostenimiento de los organismos por medio de su sistema radicular.



Según Breen (1990), la asimilación de nitrato por la planta mejora en un flujo vertical debido a que hay un contacto entre la raíz-nutriente incorporándolo en forma de biomasa vegetal, las concentraciones de estos nutrientes son bajas sin ninguna fuente alóctona, solo la que producía el propio sistema y los organismos que lo incorporaban. Gopal (1999), menciona que las raíces de las plantas con la materia orgánica, proporcionan una buena área superficial para el crecimiento.

### 9.8. Crecimiento de Plántulas de *R. mangle*

Se menciona en algunos trabajos, que la asimilación del nitrito es el primer camino en el crecimiento y desarrollo de la planta según lo descrito por Solomonson y Barber (1990).

En nuestro trabajo realizado la asimilación de nutrientes por las plántulas fue aceptable, teniendo un crecimiento promedio de  $1.78 \text{ cm mes}^{-1}$  en el caso con alimento (BM/ca) y sin alimento (BC/sa) el crecimiento promedio fue de  $1.65 \text{ cm mes}^{-1}$ . Se dice que las plantas acuáticas poseen habilidad para asimilar nutrientes y crear condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como autodepuradoras de ambiente acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas (Brix y Schierup, 1989). Troell *et al*: (2003) definieron la biofiltración de nutrientes por plantas acuáticas, principalmente por algas, como una acuicultura integrada. Neori *et al*: (2003) demostraron biológicamente, técnicamente y económicamente el uso de las algas marinas y plantas, son organismos extractores.

Weisner *et al*: (1994), comentan que el uso de macrofitas emergentes para el tratamiento de efluentes es adecuado tanto en un sistema de humedales artificiales o naturales. El sistema radicular de las macrofitas ofrece superficie para bacterias epífitas heterótrofas que son quienes realizaron la descomposición de la materia orgánica, estas otorgan el mayor beneficio para la remoción de



nitrógeno en humedales en forma de biomasa bacterial o algunas mediante el proceso de denitrificación.

Se ha encontrado que otros de los factores que influyeron en el crecimiento de las plántulas fue la salinidad, en nuestro experimento se logró tenerla a 15 ppm durante los meses de abril a diciembre. Una de las funciones del crecimiento para el manglar es como maneja los iones. Parida *et al*: (2002), mencionan que estos son divididos en dos grupos: aquellos manglares que tienen glándulas secretoras o pelos radiculares para la excreción de iones y otros son los no secretores y son excluidoras de iones, es decir poseen mecanismos de osmosis inversa que impiden la entrada de los iones. En este estudio el *R. mangle* pertenece al grupo de los no secretores; en ambiente natural la salinidad en lluvias es de 15 ppm y en época de estío es de 39 ppm (Contreras y Zabalegui, 1991).

La temperatura es el segundo factor que influyo en el crecimiento de los manglares, se dice que se tiene que tener en un intervalo óptimo para el buen desarrollo de la planta. En este caso para los manglares su variación anual, es de 20 °C en el mes más frío (enero) y 34 °C durante el verano (agosto), según reportado por Contreras y Gutiérrez, (1989).

Los manglares son una de las macrofitas que capturan cantidades de nutrientes incorporándolos a sus tejidos a través de la remoción, contribuyendo con esto aun rápido crecimiento de la planta misma (Kadlec, 1990). Dentro de estos últimos aspectos Rakocy *et al*:(2003), concluyeron que los sistemas integrados y acuapónicos (integración de acuicultura y sistemas hidropónicos) entran en el paradigma de producción orgánico a través de la conservación y el reciclaje de nutriente.



## 10. CONCLUSIONES

- Se encontró que *R. mangle* presentó una mayor eficiencia de remoción del NID (del 72 al 83 % de NID) mayor a lo que removieron sus controles, esto se debe a que los biofiltros se les colocaron plántulas jóvenes, por lo cual requieren más nutrientes para su desarrollo, esto no se presentó en el ciclo octubre-diciembre BM/sa y BC/sa donde la eficiencia para ambos fue de 61%.
- Para ortofosfato, *R. mangle* presentó una eficiencia de remoción de 88 al 93 % ligeramente mayor a sus controles 68 a 90%, En el ciclo agosto a septiembre se observó más marcada esta remoción para BM/ca y BC/ca debido al sustrato que se utilizó en el filtro el porcentaje fue de 60 % a 90 %.
- *R. mangle* con / sin alimento tuvieron diferencias significativas en su crecimiento aunque solamente 1.08 veces mayor *R. mangle* con alimento con respecto a *R. mangle* sin alimento, base el alimento externo que se incorporó al sistema la planta presentó un poco más de crecimiento. El crecimiento por mes fue de  $1.78 \text{ cm mes}^{-1}$  para *R. mangle* con alimento y de  $1.65 \text{ cm mes}^{-1}$  para *R. mangle* sin alimento.
- El manglar de acuerdo a su cultivo hidropónico y su sistema radicular, si aportó los requerimientos nutricionales necesarios a los peces poeciliidos en los sistemas sin alimento y lográndose el sostenimiento de los mismos.
- Las temperaturas durante agosto-septiembre y octubre-diciembre no influyeron en la eficiencia de remoción para *R. mangle*, pero si en el crecimiento de los Poeciliidos.



- Se comprobó que la calidad del agua manejada durante el transcurso del experimento favoreció a los peces carnívoros (pargos) sobreviviendo tres de ellos.
- Se recomienda continuar estos estudios incluyendo sistemas que sostengan una mayor biomasa de poeciliidos como fuente única de alimento para peces carnívoros.



## 11. REFERENCIAS

- Blanco, T.L y G. J. Tacón. 1989. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Una diagnosis. Programa Cooperativo Gubernamental FAO-Italia. Brasil
- Breen, P. F. 1990. A Mass Balance Method for Assesing The Potential of Artificial Wetlands for Wastewater Treatment. *Water Res*; 24: 689-697 pp.
- Brix, H. y SchierupH. 1989. The use of the aquatic macrophytes in water pollution control. *Ambio* 18: 100-107 pp.
- Brown, JH. 1999. Macroecology: progress and prospect. *Oikos* 87: 3-14 pp.
- Calvario- Martínez, O; Farías- Sánchez, J. A; Franco-Nava, M. A; Domínguez- Jiménez, V. P y Medina – Guerrero, R. M. 1998. Diseño y evaluación de un sistema experimental para el tratamiento biológico del efluente de una granja camaronicola semi-intensiva. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. CIAD. Unidad, Mazatlán. Acuicultura y Manejo Ambiental. Informe Ejecutivo.
- Chen, Y., Jackson, D. A y Harvey, H. H. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49: 1228 -1235.
- Chung, Kyung S. 2001. Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambios de salinidad. *Rev. Biol. Trop*, mar. Vol.49. No.1. 9-13pp. ISSN 0034-7744.
- Contreras, E. F. y F. M. Gutiérrez. 1989. Temas de Oceanografía Biológica en



México. Hidrología. Nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. In. V. J. de la Rosa y F. F. Gonzáles. UABC. 57'78 pp.

Contreras, E. F. y M. Zabalegui. 1991. Hidrología nutrientes y productividad primaria en la Laguna de Joya Buenavista, Chiapas, México. Departamento hidrobiología. Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Univ. Aut. Metropolitana- Iztapalapa. Apdo. Postal 55-535, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 1-8 pp.

Debusk, A. T. y Debusk, F. W. 2000. Wetland for water Treatment. *Applied Wetland Science and Technology*. Chapter 9.

Gopal, B. 1999. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. *Water Science and Technology*. Vol.3 No 40: 27-35 pp.

Grassoff. 1964. Kiel. *Meeresforsch.*20:5.

Greenway, M y Woolley, A. 1999. Constructed wetland in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation. Faculty of Environmental Sciences. Griffith University, Nathan. Department of Natural Resource, Gpo, Box, 2454, Brisbane, Qld 4001. Australia. *Ecological Engineering* 12. 39-55 pp.

Heip CHR, Goosen NK, Herman PMJ, Kromkamp J, Middelburg JJ, Soetaert K (1995) Production and consumption of biogenic particles in temperate tidal estuaries. *Mar Biol Oceanogr Annu Rev* 33:1–149

Hunter WB, Polston JE. 2001. Development of a continuous whitefly cell line [Homoptera: Aleyrodidae: *Bemisia tabaci* (Gennadius)] for the study



of Begomovirus. *Journal of Invertebrate Pathology* 77: 33-36 pp.

Jiménez, M. G. y Balcázar, J. L. 2003. Uso de filtros biológicos en larvicultura del *Litopenaeus vannamei*: Principios generales. Facultad de Acuicultura, Universidad de Machala (Ecuador). *Rev. Aquatic*, 18: 11-14 pp.

Kadlec, R. H. 1990. Overland flow in wetlands: vegetation resistance. *J. Hydraulic. Eng*; Vol.5 No.116: 691 p.

Kadlec, R. H. 1997. An autobiotic wetland phosphorus model. *Wetland Management Services*, 6945 Westbourne, Drive, Chelsea, Mi 48118-9527, USA. *Ecological Engineering*, 145-172 pp.

Kaiser, G. E. y Wheaton, F. W. 1981. Nitrification filters for aquatic culture systems: state of the art. *J. World Maric. Soc* 14:302-324 pp.

Kimura, D. K. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*, 77: 756-776.

Koster, W. J. 1957. *Guide to the fishes of New Mexico*. Albuquerque, University of New Mexico Pree, 1-116 pp.

Lane, R. R; Mashriqui, H. S; Kemp, G. P; Day, J. W; Day, J. N. y Hamilton, A. 2003. Potential nitrate removal from a river diversion into a Mississippi delta forested wetland. Coastal Ecology Institute, Louisiana Stat University, Baton Rouge LA: 70803, USA. *Ecological Engineering* 20:237-249 pp.

Lantzke, I. R; Heritage, A. D; Pistillo, G. y Mitchell, D. S. 1998. Phosphorus removal rates in bucket size plant wetlands with a vertical hydraulic flow. CSIRO. Division of Water Resources, Griffith, NSW 2680, Australis, *Wat. Res.* Vol.32 No.4:1280-1286 pp.



- Lekang, O. L; Bergheim, A. y Dalen, H. 2000. An integrated wastewater treatment system for land-based fish-farming. *Aquac. Eng* 22: 199-211pp.
- Liao, P. G. y Mayo, R. D. 1973. Salmonid hatchery water reuse system, *Aquaculture*, 1:317-335 pp.
- Lin, Y. F; Jing, S. R; Wang, T. W. y Lee, D. Y. 2002. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from ground water in constructed wetlands. *Environmental Pollution* 119:413-420 pp.
- Lugo, A. E. y S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5:39-64 pp.
- Luchini. L., Quiros, R. y Avedaño. T. 1986. Cultivo en jaulas de "catfish sudamericano". Primeros ensayos en el embalse de Salto Grande, producción Animal. San Martín de Los Andes, Neuquén. 19 al 21 de junio de 1986.
- Macnae, W. 1974. Mangrove forest and fisheries. *FAO/UNDP Indian Ocean Fishery Programme, IOFO/Dev 7434*. FAO, Rome, 64 p.
- Martínez- Cordova, L.R.1998. *Ecología de los Sistemas Acuicola*. AGT Editor, S.A; México 227p.
- Martínez-Vega, A. y Aguirre-Guzmán, G. 2000. Sistema Cerrado de Recirculación de Agua Marina a bajo costo para Bioensayos. Instituto de Industrias. UMAR. Universidad del Mar. Oaxaca, México.



- Mitsch, W. J. y Jorgensen S. E. 1989. Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology. Ed. Wiley. 472 p.
- Mitsch, W. J. 1988. Ecological Engineering: Enhancing Nature's Ecological Services. School of Natural Resources. The Ohio State University, Coffey Road, Columbus, Ohio, USA. 116 p.
- Moroyoqui, R. L. 2001. Sistema Experimental Silvopescuero (Manglar-Ictiofauna) con Recirculación de Agua. 1<sup>era</sup> Etapa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa, México. 45 p.
- Moroyoqui, R. L. 2005. Análisis de la eficiencia e la remoción de nutrientes en un sistema experimental silvopescuero (Manglar-Ictiofauna) con recirculación de agua. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad, Sinaloa, (IPN). México. 71 p.
- Morris, A. A. y J. P. Riley. 1963. The determinación of nitrate in sea water *Analyt Chem. Acta*, 29: 272-279 pp.
- Muir, J. F. 1988. Aspects of waters treatment and reuse in intensive fish culture, Ph.D. Thesis. Strathclyde Univ., Glasgow, Scotland.
- Murphy, J. y Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the deteremination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27.



- Neori, 1991. Use of seaweed biofilters to increase mariculture intensification and upgrade its effluents. *Fish. Fishbreeding Isr.: Rev. Fish.* Vol.4 No.24:171–179 pp.
- Neori, A.1999. The type of N-supply (ammonia or nitrate) determines the performance of seaweed biofilters integrated with intensive fish culture. *Israel Journal of Aquaculture. Bamidgeh. Israel Oceanographic and Limnology Research National Center for Mariculture.* Vol.48 No.1:19-27 pp.
- Norudin M. 1987. Effects of shrimp farming and other impacts on mangroves of Bangladesh. In: *Papers contributed to the Workshop on Strategies for the Management for Fisheries and Aquaculture in Mangrove Ecosystems.*FAO Fisheries Report No. 370 Supplement. Bangkok, Thailand 23-25 de Junio 1986: 46-66 pp.
- Odum, H. T. 1962. *Ecological Engineering.* Chapter 6: 79-99 pp.
- Ortega, A. 2002. *Evaluación de Impacto Ambiental en Sistemas de Acuicultura.*
- Páez- Osuna, F. 2001. The environmental impact shrimp aquaculture: causes, effects and mitigating alternatives. *Environmental Management* Vol.28 No.1: 131-140 pp.
- Parida, A. K; Das, A. B. y Das, P. 2002. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic culture. *J. plant. Biol;* 45: 28-36pp.



Rakocy, J; RC, Sultz; OS Bailey. y Esthoman. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. ISHSAuto Horticulturae 648 p.

Ramade, F. y Mdash.1977. Écotoxicologie. Masson, Paris. 77 p.

Riley. 1953. Anal. Chim. Act 9:575 p.

Robertson, A.I. y Phillips, M.J. 1995. Mangrove as filters of shrimp pond effluent; predictions and biochemical research needs. Hydrobiology 295. 311-321 pp.

Seawright, D. E; Stickney, R. R. y Walker, R. B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. University of Washington, Botany Department, Box 351330, Seattle, WA 98195, USA. Aquaculture 160: 215-237 pp.

Solomonson, L. P. y Barber, M. J. 1990. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. Annu.Rev.Plant.Physiol.Plant.Biol; 41: 53-225 pp.

Solórzano, L. 1962. Determination of ammonium in natural waters by phenol hypochlorite method. Limnol. Oceanogr. 14:799-801 pp.

Sorrell. B. K. y Orr, P. T. 1993. Proton exchange and nutrient uptake by roots of the emergent macrophytes *Cyperus involucreatus* Rottb; *Eleocharis sphacelata* R.Br. and *Juncus ingens* N. A. Wakef. New Phytol. 125:85-92 pp.



Spieles, D. J. y Mitsch, W. J. 2000. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low and high nutrient riverine systems. *Ecological Engineering* Vol.14 No.1-2: 77-91 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, R. G; Badrinayaranan, H; Rosati, R. y Son, J. 2002. Constructed wetlands as recirculating filters in large-scale shrimp aquaculture. *Biological Resources Engineering*, University of Maryland, 1449 An. Sci./Ag. Engr. Bldg. College Park. MD 20742, USA. Aquaculture Engineering.

Troell, M C; Halling, A; Neori, T; Chopin, A.H; Buschmann, N; Kautsky C. y Yarish 2003. Integrated mariculture: asking the right questions.*Aquaculture* 226: 69-90 pp.

Weisner, S; Eriksson, P; Granéli, W. y Leonardson, L. 1994. Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands. 23: 363-366 pp.

Wheaton, F. W. 1987. Acuicultura, diseño y construcción de sistemas. AGT, Editor, S. A., México. 730p.

Yang, L; Chang, H. T.y Huang,M. N. 2001. Nutrient removal in gravel-and soilbased wetland microcosms with and without vegetation.Department of Marine Environmental and Engineering and Department of Applied Mathematics, National Sun Yat-Sen University, Kaoshung 804, Taiwan. *Ecological Engineering* 18: 91-105 pp.



Ye, Y; Tam, N.F.Y y Wong, Y.S. 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 University, Ningbo, Zhejiang, Peoples Republics of China. Department of Biology and chemistry. City University of Hong Kong, Hong Kong. Marine Bulletin, Vol. 42 No.6:513-531 pp.

Zar, J.H.1996. Biostatistical analysis. Third Edition. Prentice Hall, U.S.A. 662 p.

