BIBLIOTECA
CICESE

23031

TESIS DEFENDIDA POR

Raúl Celis Ceseña

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

M.C. Manuel de Jesús Acosta Ruiz

Director del Comité

Dr. Facundo Joaquín Márquez Rocha

Miembro del Comité

Dr. Eugenio Díaz Iglesias

Miembro del Comité

Dr. Gilberto Gaxiola Castro

Miembro del Comité

Dr. Benjamín Barón Sevilla

Jefe del Departamento de Acuicultura, Biotecnología Marina.

Dr. Luis Alberto Delgado Argote

Director de Estudios de Posgrado

27 de marzo del 2003

BIBLIOTECA
CICESE

23851

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISIÓN DE OCEANOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ACUICULTURA, BIOTECNOLOGÍA MARINA.

" EFECTO DE LA BIOMASA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CULTIVO DE *LITOPENAEUS VANNAMEI*, BAJO CONDICIONES DE RECIRCULACION DE AGUA DE MAR ".

TÉSIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN ACUICULTURA presenta:

RAÚL CELIS CESEÑA

Ensenada, Baja California, México. Marzo 27 del 2003.

RESUMEN de la Tesis de **RAÚL CELIS CESEÑA** presentada como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** con orientación en **ACUICULTURA**. Ensenada, Baja California, México. Marzo del 2003.

EFECTO DE LA BIOMASA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei*, BAJO CONDICIONES DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE MAR.

Resumen aprobado por:

M en C. Manuel de Jesús Acosta Ruiz.
Director de Tesis

Se evaluaron los efectos de las diferentes biomasas sobre: calidad de agua, tasa de crecimiento, porcentaje de supervivencia, rendimiento y tasa de conversión alimenticia, en sistemas de recirculación. Se probaron tres categorías de cultivo; Súper-Intensivo (SI), 616 Pl/m^2 (3 Pl /L); Hiper-intensivo bajo(HIB), 2,368 Pl/ m^2 (11.5 Pl /L) e Hiper-intensivo alto (HIA), 3,976 Pl m^2 (19.3 Pl /L), con post larvas (Pl_{18}) de *Litopenaeus vannamei* especie endémica del Pacífico tropical y subtropical. Se modeló bajo el entorno Stella 7.0.2., la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), por considerarlo como uno de los compuestos químicos más tóxicos en el cultivo. La modelación se realizó en función de: densidad, tasa de flujo de agua, excreción, volumen de biofiltro, volumen de filtro de arena y tiempo de cultivo. Se estableció una concentración máxima permisible de TAN (0.250 mg/l). Se realizo una prueba no paramétrica Kruskal-Wallis existiendo diferencias significativas ($P< 0.05$) para el crecimiento entre las tres categorías. Los datos de NAT fueron sometidos a un ANDEVA de una vía no existiendo diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tres grupos. Los valores promedio de nitrito fueron de 0.503 mg/l. Las variables ambientales; Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/l), salinidad y pH, se mantuvieron en el rango fisiológico de la especie. El porcentaje de supervivencia máximo fue 86.3 y el mínimo 43.7 para SI e HIA. El rendimiento fue 0.349, 0.145 y 0.155 (g en 38 días) para SI, HIB e HIA, respectivamente. Los resultados demuestran que, en esta región, se pueden utilizar los sistemas de recirculación en el cultivo de post larvas y juveniles de *Litopenaeus vannamei* en categorías SI e HI, bajo las condiciones experimentadas, como parte del ciclo de producción.

Palabras clave: *Litopenaeus vannamei*, cultivos, SI, HI, Calidad de agua.

ABSTRACT of the thesis by Raúl Celis Ceseña, presented as partial fulfillment to obtain the degree of MASTER IN SCIENCE with specialty on Aquaculture, Ensenada, Baja California, México. 27 March 2003.

EFFECT OF BIOMASS ON WATER QUALITY IN SHRIMP CULTURE *Litopenaeus vannamei*, UNDER SEAWATER RECIRCULATION CONDITIONS.

Abstract approved by:

M.Sc. Manuel de Jesús Acosta Ruiz
Thesis Director

Effects of stocking density in; water quality, growth rate, survival, performance index and feed conversion rate, under recirculation shrimp culture systems. The experiment was done with post larvae (Pl_{18}) of *Litopenaeus vannamei* the white leg shrimp endemic specie from tropical and subtropical Pacific´s Coast. We use three different categories: Super-intensive (SI), 616 Pl/m^2 (3 Pl /L); hiper-intensive low (HIL), 2,368 Pl/ m^2 (11.5 Pl /L); hiper-intensive high (HIH), 3,976 Pl m^2 (19.3 Pl /L). total ammonia nitrogen (TAN) modeling under Stella 7.0.2., as function of : Stocking density, water flux rate, excretion, biofilter volume, fluidized sand filter volume and culture time. Standard level of TAN was 0.250 mg/l as toxic level. A Kruskal-Wallis test was performed to weight data finding significative differences ($P< 0.05$). TAN concentration was evaluated with an ANOVA one way test showing no significative differences ($P> 0.05$) between the groups. Mean nitrite (NO_2^-) concentration was 0.503 mg/l. Environmental factors: Temperature (°C), dissolved oxygen (mg/l), salinity (‰) and pH were maintained in the physiological range of the specie. There were significative differences ($P<0.05$) between the groups for growth rate. Higher survival was 86.3 % and lower 43.7% for SI and HIH. Performance index was 0.349, 0.145 and 0.155 (g in 38 days) for SI, HIL and HIH, respectively. Food conversion rates were; 1.34; 1.33 and 3.5 for SI, HIL and HIH, respectively. These results demonstrate that in this region, we can use recirculation nursery systems in high stocking density under the conditions we have experimented as part of the shrimp culture cycle production.

Key words: *Litopenaeus vannamei*, culture, SI, HI, water quality.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el producto de mi dedicación y esfuerzo, pero no hubiera sido posible sin el apoyo que me brindaron algunas personas físicas y morales a las cuales quiero agradecer con los más profundos sentimientos y creencias que forman mi ser.

A mi esposa, a mi hija y a toda mi familia.

A CICESE por el apoyo brindado para obtener este titulo. A todos mis maestros y colegas de la generación de estudios de maestría.

A mi comité de Tesis por haber aceptado participar en este trabajo con su análisis y observaciones que contribuyen a mi formación académica.

Al Maestro en Ciencias Manuel de Jesús Acosta Ruiz por su calidad humana, profesional y por su valiosa ayuda para lograr la obtención de este titulo.

A la Universidad Autónoma de Baja California.

A CONACYT por el apoyo que brinda a la formación de postgrados.

CONTENIDO

		Página
I.	INTRODUCCIÓN.	1
II.	HIPÓTESIS.	16
III.	OBJETIVO GENERAL	17
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.	18
	IV.1. Modelación de la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) mg/l.	18
	IV.2. Sistema de Cultivo.	18
	IV.3. Obtención de organismos.	23
	IV.4. Factores ambientales.	24
	IV.5. Peso de los organismos.	25
	IV.6. Concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) y nitritos (NO_2^-) mg/l.	25
	IV.7. Crecimiento (G).	26
	IV.8. Supervivencia (%).	26
	IV.9. Rendimiento (R).	26
	IV.10. Tasa de conversión alimenticia (TCA).	27
	IV.11. Análisis estadístico.	27

V. RESULTADOS. 28

V.1. Comportamiento de nitrógeno amoniacal total (NAT) mg/l modelada y registrada. 28

V.2. Factores ambientales. 30

V.3. Respuestas en crecimiento. 34

VI. DISCUSIÓN. 41

VII. CONCLUSIONES. 51

VIII. RECOMENDACIONES. 52

LITERATURA CITADA. 53

FECHA DE INGRESO
JUL 7 2003
BIBLIOTECA CICESE

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1.	Producción mundial de productos pesqueros en el mundo: FAO 1998.	2
2.	Producción mundial de camarón, FAO 1998.	3
3.	Ciclo de vida de los camarones peneidos (Ramos-Trujilo y Vasconcelos-Gesteira 1997).	4
4.	Componentes principales en los sistemas de recirculación (Malone y Beecher, 2000).	8
5.	Diseño experimental para cultivos L. vannamei, SI (línea B), HIB (línea A) y HIA (línea C).	19
6.	Diagrama del modelo Stella 7.0.2. para la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), en la categoría HIA.	20
7.	Vista exterior del invernadero para el cultivo de postlarvas (Pl_{18}) de *L vannamei*.	20
8.	Filtros de arena (FA), biofiltros (BF) y estanquería utilizada en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei*.	21
9.	Características de los biofiltros utilizados en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei*.	23
10.	Características de los estanques utilizados en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei*.	25

11. Concentración de NAT mg/l, para el cultivo HIA (19.3 pl L^{-1}). Δ.- Mediciones. □.- Modelación con el programa Stella 7.0.2. Media ± E.E. 29

12. Concentración de NAT mg/l, para el cultivo HIA (19.3 pl L^{-1}). Δ.- Entrada al biofiltro. □.- Entrada a los estanques de cultivo. Media ± E.E. 29

13. Registro de temperaturas a las 09:00 horas en las tres categorías de cultivo *L. vannamei*. Media ± E.E. 32

14. Registro de temperaturas a las 18:00 horas en las tres categorías de cultivo de *L. vannamei*. Media ± E.E. 32

15. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 33

16. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 33

17. Salinidad registrada a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 36

18. Salinidad registrada a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 36

FIGURA Página

19. Valores de pH registrados a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 37

20. Valores de pH registrados a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei*. Media ± E.E. 37

21. Crecimiento (g) de *L. vannamei* registrado en las diferentes categorías de cultivo. 40

LISTA DE TABLAS

TABLA		Página
I.	Clasificación taxonómica de *L. vannamei* (Martín y Davis 2001).	4
II.	Patógenos más frecuentes en los cultivos de camarón (Browdy, 1998).	5
III.	Clasificación de los cultivos de camarón de acuerdo con la densidad de siembra y actividades principales realizadas (Bardach *et al.*, 1972; Chamberlain 1987; Moore y Brand 1993, Davis y Arnold, 1998).	5
IV.	Estudios realizados en sistemas de recirculación y calidad de agua, en cultivos Súper-intensivos e Hiper-intensivos, como alternativas tecnológicas para la producción acuícola.	7
V.	Calidad de agua recomendada en los sistemas de recirculación (Masser *et al.*, 1999).	7
VI.	Lista de precios y materiales utilizados en la construcción del diseño experimental para el cultivo de postlarvas de camarón blanco *L. vannamei*.	22

TABLA Página

VII. Especificaciones del alimento utilizado para las distintas categorías de cultivo de L. vannamei. Shrimp production 40/5 # 2. Rangen Incorporation. Análisis Garantizado. 24

VIII. Concentración de NAT mg/l, nitritos mg/l, registro de alimento suministrado (% biomasa/dia y flujo de agua en L min^{-1}, en las distintas categorías de cultivo de *L. vannamei*. Media ± error estándar, (n) y rango entre corchetes. Exponente **a** para la concentración de NAT indica que no existieron diferencias significativas entre las tres categorías de cultivo (alfa = 0.05). 30

IX. Factores ambientales registrados en las distintas categorías de cultivo L. vannamei. Media ± error estandar, (n) entre paréntesis y rango entre corchetes. 31

X. Registro de los pesos (g) de los tres tratamientos. Media ± error estándar , (n) y rango entre corchetes. 38

TABLA Página

XI. Registro de los pesos (g) entre los tres tratamientos. Mediana ± error estándar, (n) y rango entre corchetes. 39

XII. Variables de respuesta en crecimiento para los tres tratamientos. Crecimiento, supervivencia, rendimiento y tasa de conversión alimenticia. 40

I. INTRODUCCIÓN.

La tendencia generalizada de la producción pesquera mundial, denota una declinación a finales del siglo pasado, mientras que la producción acuícola muestra notables incrementos, considerándose uno de los sectores de producción de más rápido crecimiento, debido a la domesticación de especies de alto valor comercial y al impulso de nuevas tecnologías (FAO 1998; Bardach *et al.*, 1986).

En ese mismo periodo la producción de camarón aumentó el 11%, debido a la aportación del 30% lograda a través de la camaronicultura que se aplica en las 375,000 granjas que existen en el mundo (FAO 1998; Ramos-Trujillo y Vasconcelos-Gesteira 1997; Treece y Fox 1993). (Figs 1 y 2).

En México la producción pesquera de camarón muestra una tendencia similar a la producción pesquera mundial. A finales de los 80´s la producción alcanzaba las 83,000 toneladas métricas, actualmente cifras obtenidas de la dirección de estadística y registro pesquero de SAGARPA estiman una producción de 46,352 toneladas métricas para el año de 1999, es decir, una declinación del 44.1 %. Sin embargo, en el mismo periodo el crecimiento de la camaronicultura muestra un crecimiento del 62.5 % logrando mantener la producción total en 78,234 toneladas métricas. Actualmente en México se reportan 325 granjas con 32,787 hectáreas de superficie que se encuentran ubicadas principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa y otras partes del litoral del Pacífico, (Weidner *et al.*, 1992; Purina 2002).

La declinación de la pesca y la demanda mundial del producto acuícola han sido los detonantes para el desarrollo de sistemas de producción cada vez más especializados,

de los que el objetivo principal es lograr mayor producción por unidad de área, con el mínimo impacto ambiental (Hardy 1999; Davis y Arnold, 1998).

Una de las especies que más ha contribuido con la producción de camarón en nuestro país es *Litopenaeus vannamei*, el camarón blanco del Pacífico, la cual hemos seleccionado para realizar el presente trabajo. Su ciclo de vida requiere de una calidad de agua oligotrófica en sus primeras etapas larvales, encontrándose en áreas alejadas de la costa dentro de la plataforma continental (Burkenroad 1981; Perez-Farfante *et al.*,1997; Ramos-Trujillo y Vasconcelos-Gesteira 1997, Kitami y Alvarado, 1982) (Fig 3, tabla I).

En nuestro país, como en el resto del mundo, el cultivo de camarón se ha desarrollado tradicionalmente en estanquerías que ocupan grandes extensiones de tierra, donde el manejo y control de la calidad de agua es muy variable, provocando problemas de manejo, contaminación y enfermedades, que hacen menos rentable esta actividad (Davis y Arnold 1998 ; Kuo-Feng *et al.*, 1998).

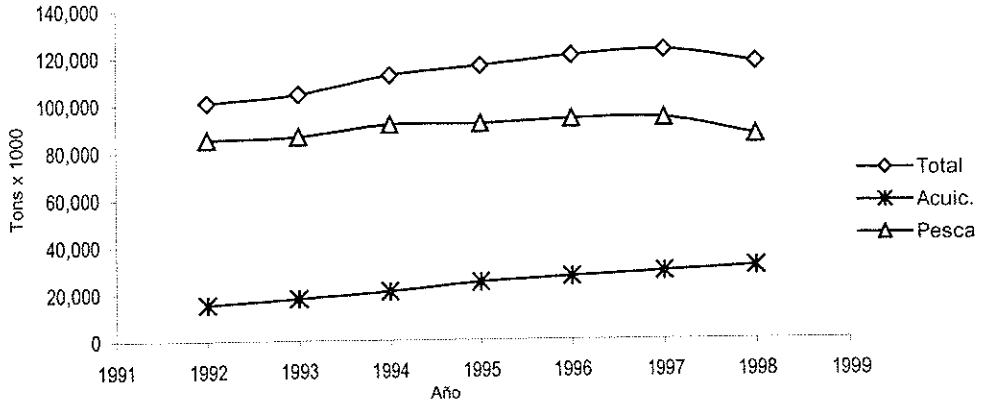


Figura 1.- Producción de productos pesqueros en el mundo: FAO 1998.

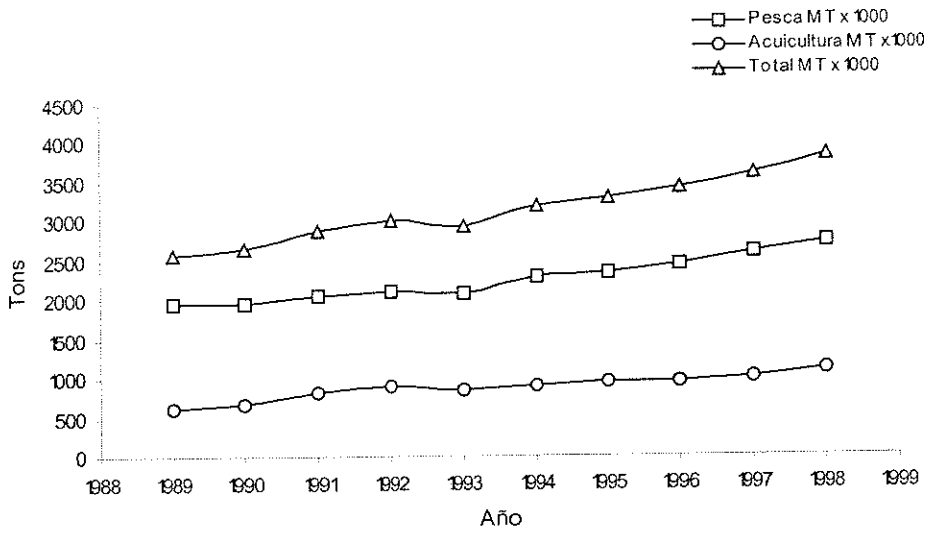


Figura 2.- Producción mundial de camarón, FAO 1998.

El incremento de los problemas en los sistemas de cultivo tradicionales es atribuido principalmente a la degradación ambiental y específicamente a la proliferación de enfermedades en los organismos cultivados. Lo anterior ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas, principalmente la aplicación de productos químicos(Cloro, vacunas, antibióticos, probióticos, insecticidas, etc.) que en algunos casos han incrementado el problema (Browdy, 1998). (Tabla II).

De acuerdo con el grado de desarrollo los cultivos de camarón se clasifican en cinco categorías; Extensiva, Semi-Intensiva, Intensiva, Súper-Intensiva e Hiper-Intensiva, que difieren en el grado de tecnología, producción alcanzada e impacto ambiental principalmente (Bardach *et al.*, 1972; Coastal Aquaculture, 1987; Moore y Brand, 1993, Davis y Arnold, 1998).(Tabla III).

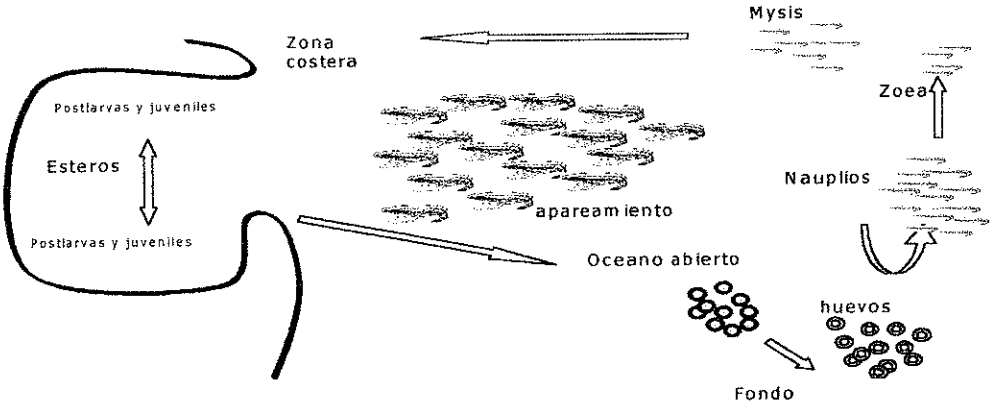


Figura 3.-Ciclo de vida de los camarones peneidos
(Ramos-Trujillo y Vasconcelos-Gesteira, 1997).

Una manera de reducir la degradación ambiental es por medio de los sistemas de recirculación y tratamiento de aguas que junto con otras investigaciones como: control endocrino, diseño de estanquerías, evaluación del uso de sustancias químicas en desinfección de estanques y viabilidad económica de los sistemas de recirculación, han sido temas recientes de investigación en el cultivo de camarón (Hardy, 1999; Primavera, 1998).

Tabla I- Clasificación taxonómica de *L. vannamei*
(Martín y Davis 2001).

Phylum	Arthrópoda.
Subphylum	Crustácea (Pennant,1777).
Clase	Malacostraca (Latreille,1806).
Subclase	Eumalacostraca (Grobben,1892).
Superorden	Eucarida (Caiman,1904)
Orden	Decápoda (Latreille 1803).
Suborden	Dendrobranchiata (Bate, 1888).
Superfamilia	Penaeoidea (Rafinesque-Schmaltz, 1815).
Familia	Penaeidae (Rafinesque-Schmaltz, 1815).
Subfamilia	Penaeinae (Ortmann, 1898).
Género	Penaeus (Smith, 1885).
Subgénero	Litopenaeus (Perez-Farfante et al 1997).
Especie	Vannamei (Boone, 1931).

Tabla II.- Patógenos más frecuentes en los cultivos de camarón (Browdy, 1998).

Nombre común en español	Nombre común en Inglés	Siglas en Inglés
Mancha blanca	White spot virus	WSV
Cabeza amarilla	Yellow head virus	YHV
Taura	Taura Síndrome Virus	TSV
Virus de monodon	Monodon vaculovirus	MBH
Infección hipodérmica	Infectious Hypodermal Hematopoietic Necrosis Virus	IHHNV

Tabla III.- Clasificación de los cultivos de camarón de acuerdo con la densidad de siembra y actividades principales realizadas (Bardach *et al.*, 1972; Chamberlain 1987; Moore y Brand 1993, Davis y Arnold, 1998).

Categoría	Densidad siembra PL/m^2	Actividades principales realizadas
Extensivo	1-5	Siembra y cosecha.
Semi-Intensivo	6-19	Siembra, alimentación, reposición de niveles de agua y cosecha.
Intensivo	20-199	Siembra, alimentación, aireación reposición de niveles de agua y cosecha.
Super-Intensivo	200-1,144	Siembra, alimentación, aireación, recambio de agua y cosecha.
Hiper-Intensivo	>1,144	Siembra, alimentación, aireación, oxigenación, remoción de sólidos, CO_2, utilización de filtros biológicos, desinfección, recambios mayores de agua y cosecha.

Los primeros estudios sobre los sistemas de recirculación de agua y el impacto de los nitratos y nitritos en las especies cultivadas fueron realizados con peces (*Cyprinus carpio*), en la Estación Experimental de Wielenbach, Alemania (Bohl, 1977). Las últimas dos décadas del siglo pasado y los primeros años del presente se han realizados varias investigaciones sobre los sistemas de recirculación de agua en la acuicultura (Tabla IV).

El costo de la tierra y el bombeo de agua son considerados como limitantes en los cultivos extensivos de camarón, ya que se requiere de grandes extensiones de tierra y volúmenes altos de agua para realizarlos. Se ha estimado que se requieren 19,124 toneladas de agua ha^{-1} $año^{-1}$ en los cultivos extensivos, lo que equivale a obtener una producción de 5,609 kg $ha^{-1}año^{-1}$. En base a estos valores se proponen los sistemas de recirculación como alternativa, teniendo en cuenta que hay factores críticos que se tienen que controlar (Losordo *et al.*, 1998 y Masser *et al.*, 1999).(Tabla V).

Las componentes principales para mantener una buena calidad de agua en los sistemas de recirculación han sido estudiados por más de 20 años. La remoción de sólidos por filtros de malla y gránulos expandibles, las espumas fraccionadoras para eliminar la acumulación de estos sólidos, los contactos biológicos giratorios (CBG), filtros expandibles, filtros de arenas movedizas, aireadores, oxigenadores, como el bicono y el tubo en U que aumentan la concentración de oxígeno disuelto se aplican en los sistemas de recirculación con excelentes resultados.

Tabla IV.- Estudios realizados en sistemas de recirculación y calidad de agua, en cultivos Súper-Intensivos e Hiper-Intensivos, como alternativas tecnológicas para la producción acuícola.

Autor	Año	Tema
Bohl	1977	Impacto de nitratos y nitritos en piscicultura
Losordo *et al.*,	1992	Calidad de agua en los sistemas de recirculación
Moore y Brand	1992	Temperatura, salinidad y calidad del agua en cultivos Hiper-intensivos de *L. vannamei.*
Samocha *et al.*	1992	Cultivos hiper-intensivos de *L vannamei*
Cheng Fen *et al.*	1996	Sistemas de recirculación y concentración de amonio total.
Losordo *et al.*	1998	Extensiones de tierra para la acuicultura extensiva.
Davis y Allen	1998	Factores abióticos y su variabilidad en cultivos Hiper-intensivos.
Taboada *et al.*	1998	Consumo de oxigeno y excreción de NH_3
Masser *et al.*	1999	Parámetros físico químicos en los sistemas de recirculación
Malone y Beecher	2000	Biofiltros y procesos de nitrificación
Palomino *et al.*	2001	Densidad e intercambio de agua en postlarvas de *L. setiferus*

Tabla V.-Calidad del agua recomendada en los sistemas de recirculación. (Masser *et al.*, 1999).

Componente	**Valor recomendado o rango**
Temperatura	Rango óptimo para la especie cultivada menos de 5° C en cambios bruscos.
Oxígeno disuelto O_2	60% o mas de la saturación, usualmente 5 mg/l
Dióxido de carbono (CO_2)	< 20 mg/l
(Potencial Hidrógeno) pH	Entre 7 y 8
Alcalinidad Total	50 y 100 mg/l o mas de $CaCO_3$
Dureza Total	50 y 100 ppm o mas como $CaCO_3$
Amonio no-ionizado (NH_3)	< 0.05 mg/l
Nitrito - N (NO^-_2)	< 0.5 mg/l
Salinidad	Variable, se utilizan rangos para especies dulce acuícola (0.2 a 2 g/l) y marinas (35g/l).

Todos los sistemas de recirculación tienen como objetivo mejorar la calidad de agua, reducir el gasto de agua y el impacto ambiental, perfilándose como la tecnología del siglo XXI en la Industria de la acuicultura (Losordo *et al.*, 1992; Clayd y Malone 1997; Losordo *et al.*, 1998) (Figura 4).

El control de la calidad de agua y la reducción en el gasto de agua e impacto ambiental perfilan los sistemas de recirculación, como la tecnología del futuro en la industria acuícola (Loyless y Malone, 1997).

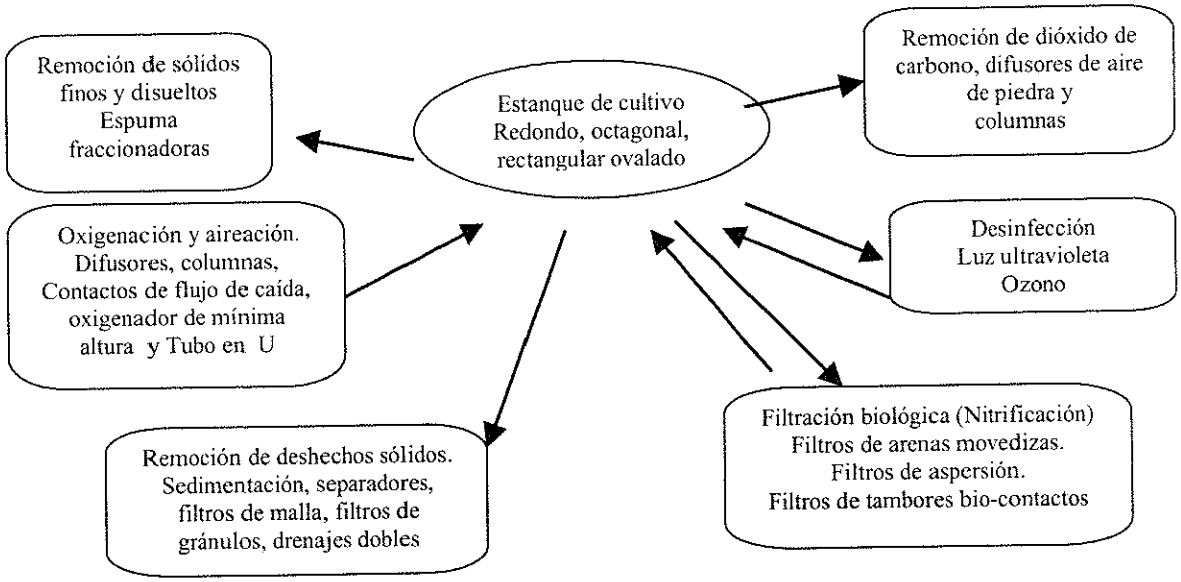


Figura 4. Componentes principales usados en los sistemas de recirculación. (Malone y Beecher, 2000).

Resultados obtenidos en crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* y *P. setiferus* en cultivos súper e hiper-intensivos (de 2 a 8.3 Pl l^{-1}) durante un periodo de 6 años, reportan los rangos de los parámetros que determinan la calidad del agua;

temperatura (24-29.5° C), salinidad (22.6-33.2), oxígeno (5.3-7.0 mg/l), amonio total (0.17-1.16 mg/l), nitritos (0.12 -1.48 mg/l), pH (7.4-7.7) y las respuestas en crecimiento a estas condiciones, como son : biomasa (0.36 – 2.85 Kg. m^{-3}) y supervivencia (84.9 a 96.9 %) (Davis y Arnold, 1998).

Resultados obtenidos con *P. vannamei* sometidos a cultivos HI indican valores óptimos de temperatura y salinidad de 28° C y 30, para su desarrollo, (Moore y Brand, 1993). En otros estudios realizados con *L. vannamei* el intervalo de temperatura se encuentra entre 24 a 32 °C, considerando 27, 28 y 30 °C, como los óptimos para obtener valores más altos de crecimiento y supervivencia (Lester y Pante, 1992; Wyban *et al.*, 1995; Ponce-Palafox *et al.*, 1997).

En cuanto al rango de salinidad estudios realizados con cultivos de *L. vannamei* demuestran que es muy amplio, desde 5 a 50, debido a esta tolerancia esta especie es considerada como eurihalina (Van Wyk, 2001). Sin embargo se gasta menos energía en los procesos metabólicos, cuando el organismo está en un con temperatura y salinidad preferida (Jobling,1981; Panikkar,1969). Por lo tanto es de esperarse que los organismos que se desarrollen en esas condiciones tengan mayor supervivencia y alcancen el máximo crecimiento en menor tiempo. Díaz *et al.*,(2001), reportaron una salinidad de 26 como el medio isosmótico para *L vannamei.* Por otra parte, en cultivos de postlarvas de *F. paulensis* se reporta que los procesos fisiológicos bajo diferentes salinidades (5, 15, 25 y 34) no causaron variaciones consistentes en el gasto energético medido con el consumo de oxígeno (Panikkar, 1969).

En los peneidos euritérmicos y eurihalinos, como es el caso de *L. vannamei*, la temperatura y la salinidad son los factores ambientales considerados como de mayor

influencia en el desarrollo biológico de la especie (Chen *et al.*, 1995; Wyban *et al.*, 1995).

Por su importancia económica, sus características biológicas, alta tasa de crecimiento y supervivencia aceptable para el cultivo comercial, el camarón blanco del pacífico *L. vannamei* ha sido estudiado por varios autores, demostrándose que la tasa de crecimiento y la supervivencia dependen de la interacción de factores abióticos como la temperatura y salinidad (Rosenberry 1994; Treece 2000; Wyban *et al.*, 1995; Bray *et al.*, 1994; Ponce-Palafox *et al.*, 1997; Díaz *et al.*, 2001).

Los efectos de aireación en la supervivencia, crecimiento y producción de P. *vannamei* en estanquería con bajo recambio de agua han sido estudiados. Tasas de aireación de 0,6,12 y 24 horas día^{-1}, demuestran que la supervivencia y producción fueron más altas en la estanqueria con 12 y 24 horas de aireación (Martínez-Córdova *et al.*, 1997).

La tasa de crecimiento de *P. setiferus* (Pl $_{27}$) mantenidas a 2 mg/l de oxígeno disuelto fue 32 % menor que las expuestas a 3 y 4 mg/l de oxígeno (Rosas *et al.*, 1998).

Las concentraciones de oxígeno disuelto de 0.3 y 0.8 mg/l en el cultivo de *P. setiferus* provocó la muerte del 100% de los animales en menos de 4 horas y en concentraciones de oxígeno de 1.3 a 1.8 mg/l , murieron en menos de 12 horas (Martínez *et al.*, 1998).

El control de gases disueltos principalmente oxígeno y dióxido de carbono son componentes esenciales en los sistemas de recirculación, debido a que su concentración influye en el proceso de nitrificación de las bacterias en los biofiltros y en la respiración de los organismos cultivados, por lo que se recomiendan concentraciones arriba de 5 mg/l para él oxígeno disuelto y valores < 20 mg/l de CO_2 (Masser *et al.*, 1999). Los inyectores

de oxígeno y las columnas de de-gasificación son utilizados eficientemente en los sistemas de recirculación para el control de estos gases (Summerfelt *et al.*, 2000).

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (NAT) y nitrito (NO_2^-) en cultivos HI de postlarvas de *L. Vannamei* (4,000 y 7,800 Pl/m^2) estuvieron en un rango de 0.017 a 0.923 y 0.004 a 0.017 mg/l, respectivamente, mientras que el rango de las tasas de conversión alimenticia (TAC), bajo estas densidades de cultivo, fue de 0.62 a 0.68 (Samocha *et al.*, 1993).

Para cultivos Intensivos de postlarvas (Pl_{10}) de *L. Setiferus* la concentración de amoníaco (N-NH_3 mg/l) y nitrito (N-NO_2 mg/l) varió en función de:El tiempo, densidad de cultivo e intercambio de agua. A una densidad de 350 Pl/m^2 se registraron los valores mas altos de amoníaco 0.230 mg/l y de nitrito 6.5 NO_2-N mg/l, considerado este último como subletal en *L. Setiferus*, lo cual influyó en el bajo rendimiento (Palomino *et al.*, 2001).

Debido a que el amonio en forma no ionizada (NH_3) es de los compuestos más tóxicos en el cultivo, se ha estudiado el requerimiento óptimo de proteínas, para efecto de no sobrecargar los sistemas. Algunos autores han utilizado distintos niveles proteicos (16, 32 y 48%) para determinar la proteína dietética Kg de peso día en el camarón *L. vannamei* (Kureshy y Davis, 2002).

En sistemas de recirculación con tratamiento de agua se han logrado mantener las concentraciones de amonio total y amonio no ionizado (NH_3) en rangos de 0.106-1.62 mg/l en el cultivo de reproductores de *Penaeus vannamei* con una densidad de cultivo de 478 g/ m^2 (Feng Chen *et al.*, 1991).

En cultivos de *P. setiferus* la excreción de nitrógeno amoniacal se incrementó al alejarse del nivel óptimo de proteínas, obteniendo valores a 10 µg N-NH_3 /g peso seco/hora (gps/hora), para organismos alimentados con un nivel de proteína de 30%, logrando obtener los rendimientos mas altos (Taboada *et al.*, 1998).

Numerosas instituciones científicas y comerciales han demostrado la factibilidad técnica de cultivar una variedad de especies bajo el sistema de recirculación de agua, manejando apropiadamente los factores ambientales, como el pH. Existe una variedad de reacciones que influyen en la concentración de compuestos químicos, controladas por el pH. La relación del ion amonio (NH^+_4) sobre el amoníaco (NH_3) es controlada por el valor del pH. La actividad nitrificadora de las bacterias que se encuentra en el biofiltro también es regulada por el valor del pH y esta es más eficiente en el intervalo de 7.5 a 8.0 (Loyless y Malone, 1997).

Resultados obtenidos en cultivos HI (4,120-7,830 Pl/m^2) de *P. vannamei*, con intercambio de agua, registran valores de pH entre 6.7 y 9.7 (Samocha *et a*l., 1993). En otras investigaciones realizadas en cultivos intensivos (50 Pl/m^2) de *P. setiferus* el pH se mantuvo en 8.0, durante un período de 50 días (Rosas *et. al.*, 1998; Masser *et al.*, 1999) recomiendan valores de pH entre 7 y 8 para diversas especies cultivadas bajo el sistema de recirculación. En cultivos HI de *L. vannamei* y *L. setiferus* bajo condiciones de recirculación, se registraron valores de 7.4 y 7.7 pH (Davis y Arnold, 1998).

El crecimiento y supervivencia aunado a la tasa de conversión alimenticia, han sido estudiado en cultivos Hiper-intensivos (4,210 y 7,830 Pl/m^2) de *P. vannamei*, encontrándose tasas de crecimiento de 0.0687 y 0.0647 g, no encontrando diferencias significativas ($P \geq 0.5655$), en un periodo de 35 días, respectivamente. Los porcentajes de

supervivencia fueron de 100 y 94.9 %, respectivamente. Las tasas de conversión alimenticias fueron de 0.62 y 0.68 en baja y alta densidad, no existiendo diferencias significativas ($P \geq 0.2018$) (Samocha *et al.*, 1993).

Por su parte Rosas *et al.*,(1998), en cultivos intensivos (0.2 Pl L^{-1}) de *P. setiferus,* encontraron valores de 0.273 g de peso seco para un periodo de 50 días y supervivencias 77%, obteniendo un índice de rendimiento de 0.42 (g de peso seco en 50 días).

Diferencias significativas ($p<0.05$) se han registrado para cultivos intensivos (0.3 Pl L^{-1}) de *P. setiferus*, alimentados con niveles diferentes de proteínas, alcanzando valores de crecimiento de 1.15 g, en 45 días, para el nivel de 30% de proteínas, considerado como el óptimo. Los valores para el porcentaje de supervivencia y rendimiento fueron de; 81% y 0.81 g en 45 días, respectivamente (Taboada *et a*l., 1998).

Para tallas mayores de *P. vannamei* en cultivos Intensivos (0.9 Pl L^{-1}), se registraron pesos promedio de 14 g, supervivencia de 82% y tasas de conversión alimenticia de 2; Para altas densidades (2.1 Pl L^{-1}) estos valores fueron de: 10.8 g, 48% y 1.8, respectivamente (Bart y Arnold, 1992).

El crecimiento, la supervivencia y el rendimiento se han registrado en cultivos intensivos (350 Pl/m^2) de *L. setiferus*, encontrándose valores de 0.010 g, 81 % y 0.008 (gramos por 28 días), respectivamente (Palomino *et al.,* 2001).

Por su parte Moore y Brand (1993), en estudios realizados con cultivos SI de *P. vannamei* (600 juveniles de 1.67 g/ m^2), lograron valores de: Crecimiento 3.0 g ; supervivencia 94% y tasa de conversión alimenticia de 1.20, en un período de 28 días.

Otros estudios realizados con cultivos HI (8.3 Pl_{18} L^{-1}) de *P. vannamei*, registraron valores de crecimiento 0.37 g; supervivencia 96% y tasa de conversión alimenticia de 0.96 para un periodo de 31 días (Davis y Arnold, 1998).

En camaronicultura existe la necesidad de aplicar modelos, para optimizar la alimentación y reducir las descargas de deshechos, logrando así incrementar el crecimiento de los organismos cultivados. En cultivos intensivos de *P. monodon* (137 Pl/m^2) se han registrado concentraciones de NAT de 1.0 g/l. Estas concentraciones son consideradas muy altas, lo cual ha requerido utilizar modelos bajo el entorno Stella 5.0 para controlar la calidad de agua (Ladegaard, 2000).

La proteína es la principal fuente de NAT, por eso se han aplicado diferentes estrategias para alimentar en los cultivos de *L. vannamei* utilizando, tablas de alimentación, charolas de alimentación y complementación de alimento natural, demostrándose que, la materia orgánica en los sedimentos, demanda biológica de oxígeno, fosfatos, nitratos, nitritos y amonio, son significativamente mayores en el tratamiento con tablas de alimentación ($p<0.05$) que con charolas y complementación de alimento natural. De acuerdo a estos resultados es mejor utilizar estas últimas como estrategia para alimentar (Martinez-Córdova *et al.*, 1998).

Los filtros de gránulos flotantes (FGF), remueven sólidos y promueven el crecimiento de bacterias que eliminan deshechos disueltos por medio de procesos biológicos. Los sistemas de recirculación de agua están basados en su funcionamiento para mantener la calidad de agua en los estanques de cultivo (Malone y Beecher, 2000).

El proceso de nitrificación ha sido tratado en los sistemas acuaculturales utilizando diferentes tecnologías (filtros de aspersión, filtros de arenas movedizas,

contactos biológicos giratorios), pero la tecnología para desnitrificación (conversión de NO^-_3 a N_2) ha tenido un desarrollo más lento a pesar de ser una componente esencial en los sistemas de recirculación (Lee *et al.*, 2000).

El diseño de los estanques de cultivo es otra de las componentes importantes en los sistemas de recirculación y debe estar enfocado a crear un ambiente uniforme, con circulación de agua para una mejor distribución factores ambientales, alimento y concentración de partículas no disueltas, ubicando estratégicamente las entradas y salidas de agua para reducir costos de operación (Timmons *et al.*, 1998).

El presente estudio ha sido diseñado para evaluar el efecto que tiene la biomasa en los cultivos de *L. vannamei*, sobre la calidad del agua, basándose en la concentración de: NAT, nitritos y variables ambientales.

II. HIPÓTESIS.

El efecto de la biomasa modifica la calidad del agua en el cultivo de *L. vannamei*, bajo condiciones de recirculación de agua de mar, obteniendo diferencias en el crecimiento, supervivencia, rendimiento y tasa de conversión alimenticia.

III. OBJETIVO GENERAL.

1. Determinar el efecto de la biomasa sobre calidad del agua en condiciones de cultivo Súper-Intensivo(SI), Hiper-Intensivo Bajo (HIB) e Hiper-Intensivo Alto (HIA) utilizando postlarvas de *L. vannamei,* en un sistema de recirculación.

   Particulares :

   a) Cuantificar la variación en la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) en mg/l en las categorías; SI, HIB y HIA.

   b) Cuantificar la variación en la concentración de nitritos en mg/l en las categorías; SI, HIB y HIA

   c) Cuantificar la variación de las variables ambientales: Temperatura(^{o}C), salinidad , oxígeno disuelto (mg/l) y pH en las categorías, SI, HIB y HIA.

2. Determinar las respuestas en crecimiento y la tasa de conversión alimenticia en las categorías de cultivo experimentadas.

   Particulares :

   d) Calcular la tasa de crecimiento (G) expresada en g en : SI, HIB y HIA.

   e) Determinar porcentaje de supervivencia (PS) en: SI, HIB y HIA

   f) Estimar rendimiento (R) g por días, para : SI, HIB y HIA .

   g) Inferir tasa de conversión alimenticia (TCA) en: SI, HIB y HIA

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

Fueron implementados tres diferentes tratamientos de cultivos experimentales (SI,HIB y HIA), utilizando postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei.* El montaje experimental se llevó a cabo en la plataforma del Departamento de Acuicultura, Biotecnología Marina del CICESE, en Ensenada, Baja California, durante el otoño del 2002.

IV.1. Modelación de la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) mg/l.

Se modeló la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), por considerarlo como uno de los componentes químicos más tóxicos en los cultivos de organismos acuáticos, sobre todo la forma (NH_3) no ionizada. La modelación se realizó en función de: Densidad (Pl L^{-1}); tasa de flujo de agua (l min^{-1}), excreción (g Kg^{-1}), volumen del biofiltro (l), volumen del filtro de arena fluidizante (l) y tiempo de cultivo (días) (Malone y Beecher, 2000).

Se estableció una línea normal de concentración teórica de NAT (0.250 mg/l) como límite de toxicidad (Samocha *et al.*,1993; Davis y Arnold, 1998; Palomino *et al.*, 2001; Taboada *et al.*,1998).

IV.2. Sistema de cultivo.

El sistema experimental utilizado para el cultivo de post larvas en agua de mar consistió de cuatro estanques para cada categoría, SI, HIB y HIA bajo el siguiente esquema de flujo:

3 estanques de cultivo → 1 estanque de asentamiento → 1 bomba sumergible → 1 biofiltro→ 1 filtro de arena fluidizante → estanques de cultivo. (Figura 5).

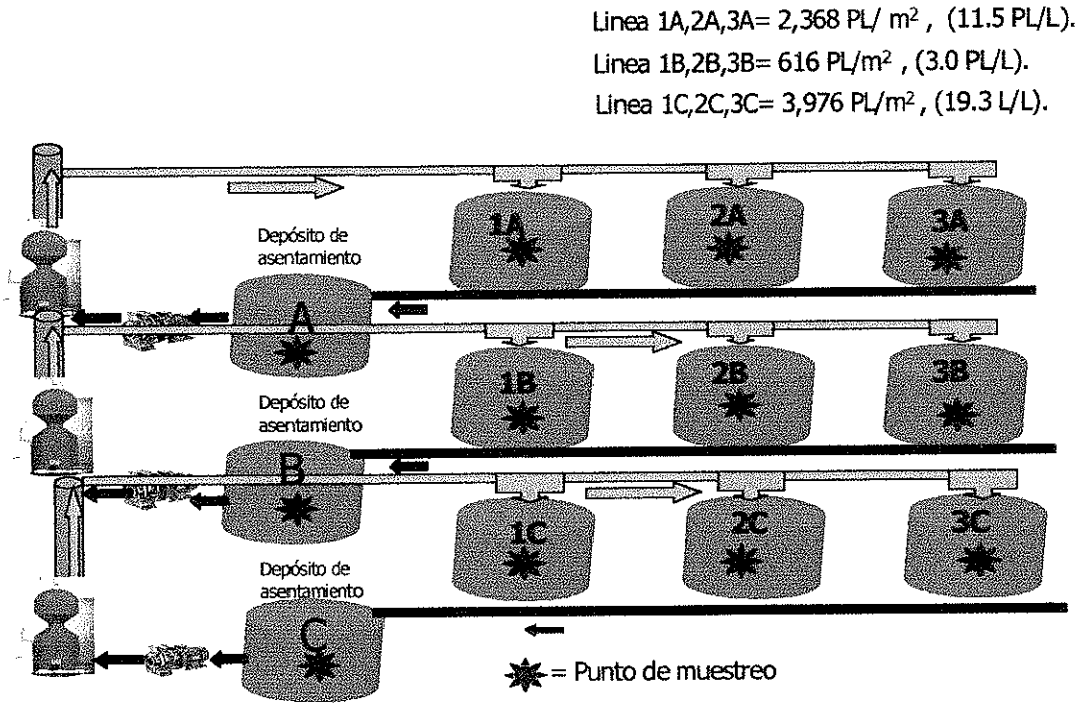


Figura 5.- Diseño experimental para cultivos *L. vannamei* .SI (Linea B), HIB (Linea A) y HIA (Linea C).

Se utilizó el modelo para la categoría HIA (19.3 Pl L^{-1}) basándose en el flujo de NAT mg/l, bajo el entorno del programa Stella 7.0.2. (Malone, 2002).(Figura 6).

El área de cultivo se cubrió con un invernadero de 96 m^2 (Figura 7).

En total se utilizaron 12 estanques de fibra de vidrio con un área por estanque de 0.985 m^2 y una altura de 0.29 m. El volumen de cada estanque experimental fue de 202 l por estanque de cultivo y 260 l por estanque de asentamiento.

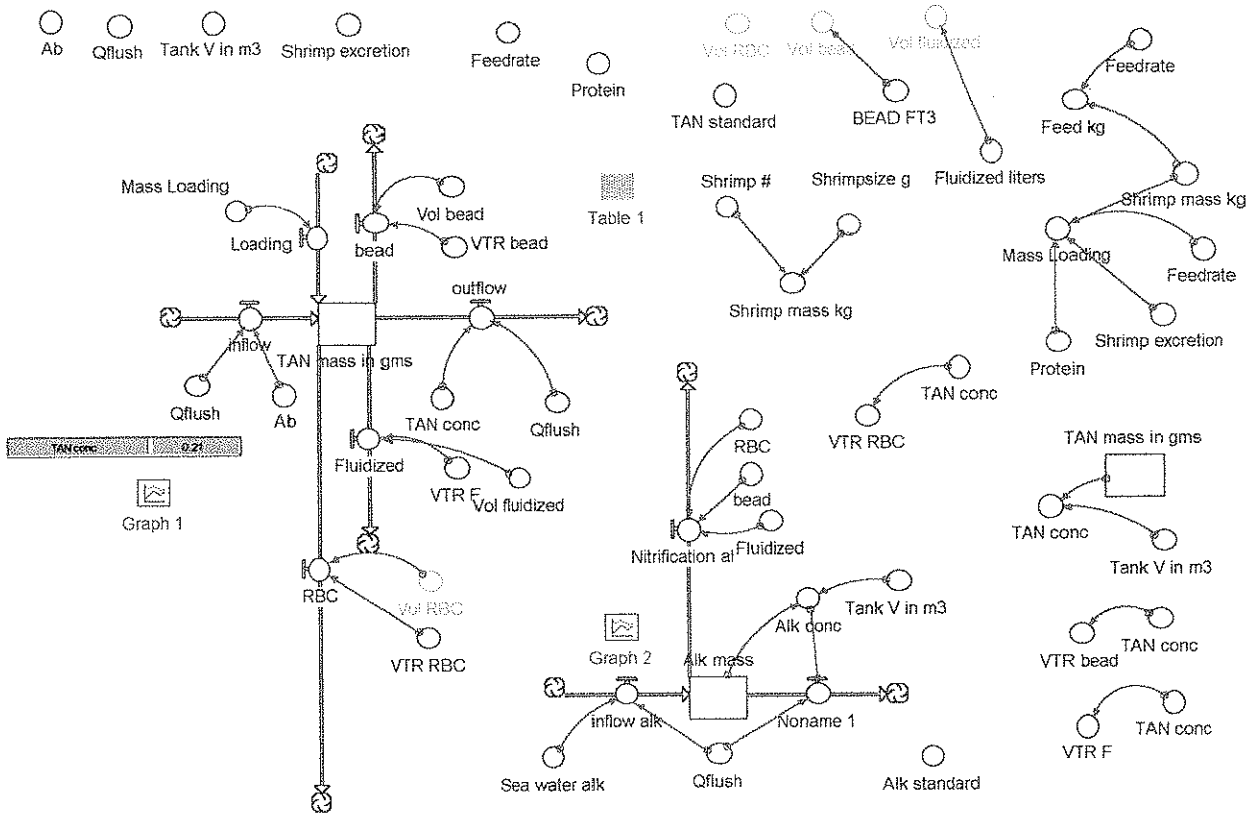


Figura 6. Diagrama del modelo Stella 7.0.2 para la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), en la categoría HIA.

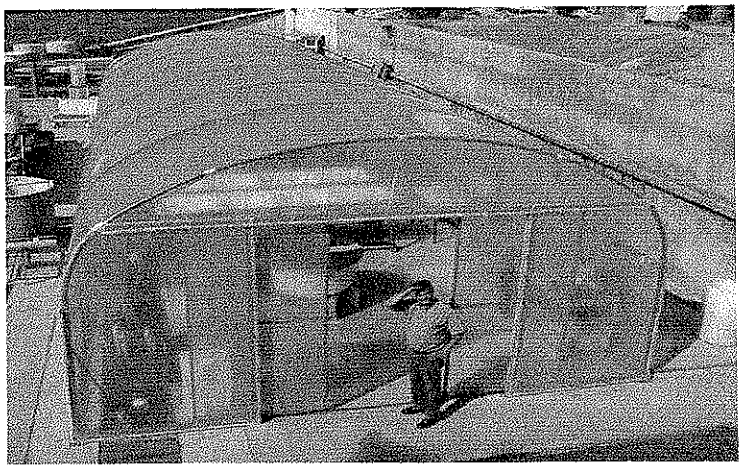


Figura 7. Vista exterior del invernadero para el cultivo de postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei*.

Todos los estanques fueron cubiertos con malla sombra (bloqueo del 50 % de luz). Se utilizaron 3 bombas sumergibles de 1/8 hp., colocadas dentro de los estanques de asentamiento, para recircular el agua a tasas de 2, 5 y 12 l. $min.^{-1}$, al inicio del cultivo en la fase intermedia y al final, equivalentes a un intercambio de agua de 14, 36 y 90 veces $día^{-1}$ respectivamente.

Los biofiltros utilizados tienen un volumen de 18 l. de media (gránulos de polietileno de 3 mm Ø, con una superficie específica de 1,150 –1,470 m^2m^{-3}). Se construyeron tres filtros de arena fluidizante con las siguientes características: Área 0.031 m^2; altura 1.41 m.; volumen expandible 20 litros; media arena sílice # 30 (superficie especifica 12,000 m^2m^{-3}). (Figuras 8 y 9).

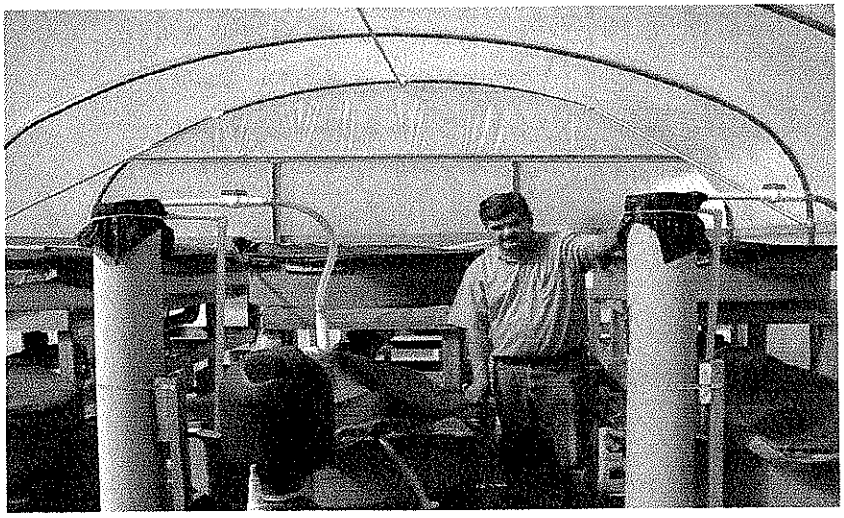


Figura 8. Filtros de arena (FA), biofiltros (FB) y estanqueria utilizada en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas (PL_{18}) de *L. vannamei*.

La red para el suministro de agua, aire y drenaje fue construida con 44.4 metros de tubería pvc con diámetros de 1.8, 1.8 y 10 cm., respectivamente. El aire es proporcionado por un soplador de 5 hp y en cada estanque de cultivo se instalaron dos

difusores de aire. Para mantener la temperatura del agua en los rangos de 26.0 y 28.0 °C, se instalaron tres calentadores de inmersión de 1000 watts con termo-control ubicados dentro de los estanques de asentamiento. (Tabla VI).

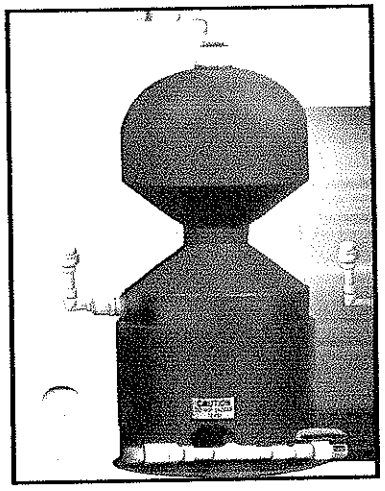
Tabla VI. Lista de precios y materiales utilizados en la construcción del diseño experimental para el de cultivo de postlarvas de camarón blanco *L. vannamei.*

Material	Descripción	Cantidad	Precio pesos
Tubería:			
Agua	PVC ced 40 (19mm).	4.4 metros	27.00
Aire	PVC ced 40 (19 mm).	5.8 metros	35.00
Drenaje	ABS ced 40 (100 mm).	4.60 metros	137.89
Piezas ;			
Agua	Codo liso 90° (19 mm).	3	5.19
	Llave de paso PVC (19mm).	3	44.19
	Tramo 30 cm PVC (19mm).	3	1.36
	Tapón liso PVC (19 mm).	3	6.54
	Te lisa PVC (19mm).	3	6.54
Aire	Llave de paso PVC (19mm).	1	14.73
	Te lisa (19mm).	3	6.54
	Manguera nalgene (3 mm).	4.5 metros	
	Piedras difusoras de aire.	6	
Drenaje	Codo 90° ABS con reducción (100 mm).	1	21.18
	Reducción 4 a 1 ½ (100mm a 37 mm).	3	
	Tes ABS (100 mm).	2	38.27
Malla	Bloqueo del 50 % de luz , de 1.30 diámetro	1.69 m^2	572.00
Cedazo	Tela mosquitero milimétrica.	0.03 m^2	
Otros materiales			
	Filtro biológico de 36 litros	1	4,203.50
	Filtro de arena fluidizante de 30 litros	1	600.00
	Calentadores	3	6,390.00
	Arena silica # 30, 45 Kg.	1	100.00
	Bomba sumergible de 1/8 de Caballo de fuerza	1	1,080.00
	Chilillos acero inoxidable	12	
	Cinchos de acero perforado	3.60 metros	16.00
	Lamina de acrílico 0.02 m^2 (3mm de grosor)	1	6.00
	Bloques de concreto 0.19 x 0.15 x 0.40 m.	32	160.00
	Literas de barrote 4.60mts x .86 m.	1	10,000.00
		1	
	Sub-Total por las tres líneas		75,617.79
Otras construcciones	Invernadero 96 m^2	1	10,000.00
	TOTAL		85,617.79

IV.3. Obtención de organismos.

La especie utilizada fue camarón blanco, *Litopenaeus vannamei*, que tiene un alto potencial para desarrollar cultivos intensivos bajo condiciones controladas en esta región de Baja California (Fraire-Astrain *et al.*, 2000; Ochoa-Solano *et al.*, 2000; Paredes-Escalona y Acosta-Ruiz, 2002).

Se obtuvieron 25,000 postlarvas (Pl_{18}) del Laboratorio comercial Prolamar S.A. de C.V., ubicado en Agua Verde, Sinaloa.



BBF 1/2 de pié cúbico (18 Litros) de gránulos de 3mm de diámetro.
Dimensiones: 36 x 12 " (0.88 x 0.30 metros).
Material: Plástico polietileno.
Color:Verde/gris.
Máximo volumen de agua : 1,000 gals.(3,785 litros).
Máximo flujo: 10 gpm (37.8 lpm)
Max presión: 10 psi (0.72 atm.)
Biomasa máxima: 12.5 lbs (5.675 kg).
Agua necesaria para el retrolavado: 8.5 gals (32.5 litros)

Figura 9- Características de los biofiltros utilizados en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas ((Pl_{18}) de *L. vannamei*.

Las postlarvas se colocaron en recipientes de 20 litros, para realizar conteos y distribuirlas en los estanques de cultivo, donde se aclimataron por un periodo de 10 días.

En este tiempo se les proporcionó alimento comercial Rangen (Tabla VII) al 4% de su biomasa presente en tres raciones al día.

Después del periodo de aclimatación las postlarvas se distribuyeron en tres diferentes densidades: 616 Pl/m^2 (3 Pl L^{-1}); 2,368 Pl/m^2 (11.5 Pl L^{-1}) y 3,976 Pl/m^2 (19.3 Pl L^{-1}), con tres repeticiones por tratamiento. (Figuras 6 y 10).

Tabla VII.- Especificaciones del alimento utilizado para las distintas categorías de cultivo de *L. vannamei*. Shrimp production 40/5 #2. Rangen Incorporation.
Análisis Garantizado

Componente	Nivel (%)
Proteína cruda (min.)	40.0
Grasa cruda (min.)	8.0
Carbohidratos	24.0
Fibra cruda (máx.)	4.0
Cenizas (máx.)	15.0
Humedad	8.0
Fósforo (min.)	1.0

IV.4. Factores ambientales.

La temperatura (°C), salinidad, oxígeno disuelto (mgl), pH y tasa del flujo de agua (l min.$^{-1}$), fueron medidas dos veces al día, a las 09:00 y 18:00 horas. El registro de los primeros cuatro factores se realizó con un analizador HACH Sension 156, con rangos y precisiones de: -10 a 110± 0.3 °C; 0-42 ± 0.1; 0-20 o.d. mg l^{-1} ± 1% y 0.0-14.0 ± 0.02 pH, respectivamente.

Dimensiones :
Area 0.985 m^2 x Altura 0.29 mt.
Volumen total: 285 litros
Volumen experimental: 202 litros
Flujo:2, 5 y 12 litros/minuto.

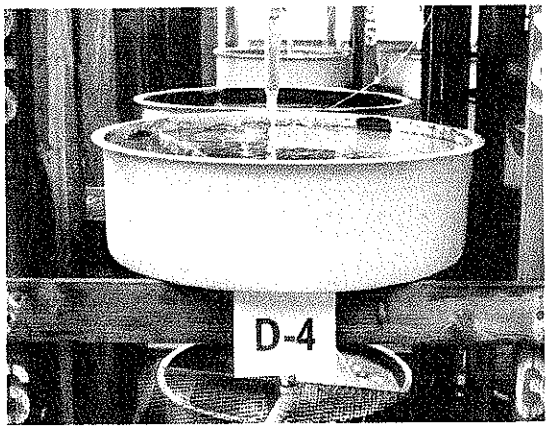


Figura 10. Características de los estanques utilizados en los cultivos SI, HIB y HIA de postlarvas (Pl_{18}) de *L. vannamei*.

La tasa del flujo de agua se midió con un cronómetro y un vaso de precipitado de 4 litros.

IV.5. Peso de los organismos.

Para calcular el peso promedio de los organismos se realizaron muestreos semanales de 30 individuos por cada categoría de cultivo. Se utilizó una balanza analítica con precisión de 0.0001 gramo.

IV.6. Concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) y nitritos (NO_2^-).

Para determinar la concentración de estos compuestos químicos se tomaron muestras de agua semanalmente y se congelaron a –10 ° C. Los análisis fueron realizados con el espectrofotómetro HACH DR/4000, por los métodos 8038 y 8507.

IV.7. Crecimiento (G).

Para calcular el crecimiento en peso promedio se realizaron muestreos semanales de 30 org/estanque para cada tratamiento y de acuerdo con la siguiente expresión obtuvimos (G).

$$G = (W_t - W_0)$$

Donde:

W_t = Peso Fina (g)

W_0 =Peso Inicial(g)

IV.8. Supervivencia (PS).

Para calcular la supervivencia expresada en términos de porcentaje se dividió el número de organismos al final del experimento entre él numero de organismos al inicio del experimento multiplicado por cien, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$PS = (N_f / N_i)\ 100$$

Donde :

N_i = Número inicial de organismos.

N_f = Número final de organismos.

IV.9. Rendimiento (R).

El rendimiento (R) en g/días, indica los efectos combinados de las condiciones de cultivo sobre el crecimiento y la supervivencia. Este índice se obtiene al multiplicar el crecimiento (G) por la supervivencia expresada como el cociente que resulta de dividir N_f entre N_i (Taboada *et al.*, 1998; Díaz-Iglesia *et al.*, 1991) de acuerdo con la siguiente formula:

$$R = (N_f / N_i)\ (G)$$

IV.10. Conversión Alimenticia (TCA).

De acuerdo con (Lazo y Davis, 2000) la tasa de conversión alimenticia (TCA) se obtuvo basándose en la siguiente expresión:

TCA = Alimento suministrado / peso Ganado.

IV.11. Análisis estadístico.

Los datos de concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) y crecimiento se sometieron a pruebas de homocedasticidad y normalidad, previos al análisis de estadística paramétrica y no paramétrica. Donde no se cumplieron estos supuestos se realizó una prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, análoga a la prueba paramétrica ANDEVA de una vía. Donde se encontraron diferencias significativas se utilizó el método *a posteriori* de comparaciones múltiples Dunn´s (no paramétrico), para aislar los grupos que diferían entre sí (Zar, 1999). Para el procesamiento de datos primarios se utilizó la hoja electrónica Excel 2000 y el paquete estadístico por computadora Sigma Stat Versión 2.0.

V. RESULTADOS.

V.1. Comportamiento del nitrógeno amoniacal total (NAT) mg/l basándose en el modelo y datos registrados.

De acuerdo con los valores asignados al modelo las concentraciones determinadas se comportaron por debajo de la línea normal establecida. Para la categoría HIA (19.3 Pl L^{-1}) los valores de NAT registrado al principio del experimento fueron indetectables, incrementándose ligeramente a hasta el día 15. A los 30 días de cultivo los valores de NAT registraron una disminución. Al final del experimento las concentraciones de NAT reales alcanzaron su máximo 0.143 mg/l, disminuyendo nuevamente hasta 0.060 mg/l.

Las concentraciones determinadas de NAT estuvieron por debajo de las modeladas. No existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las tres categorías de cultivo. (Figura 11 y Tabla VII). El comportamiento de las concentraciones tiende a aumentar hasta alcanzar una asíntota al final del experimento, debido a los valores establecidos por el modelo que no pueden ser modificados, como sucedió con los valores medidos. La disminución en el suministro de alimento, debido a los procesos biológicos (muda) es la principal causa de las fluctuaciones en la concentración de NAT para la curva de los datos medidos.

La concentración de (NAT) mg/l en la entrada al biofiltro y a los estanques de cultivo, para la categoría HIA (19.3 Pl L^{-1}) mostró una tendencia oscilante con valores de cero al inicio alcanzando un valor máximo de 0.143 mg/l al final del experimento. (Figura 12 y tabla VII).

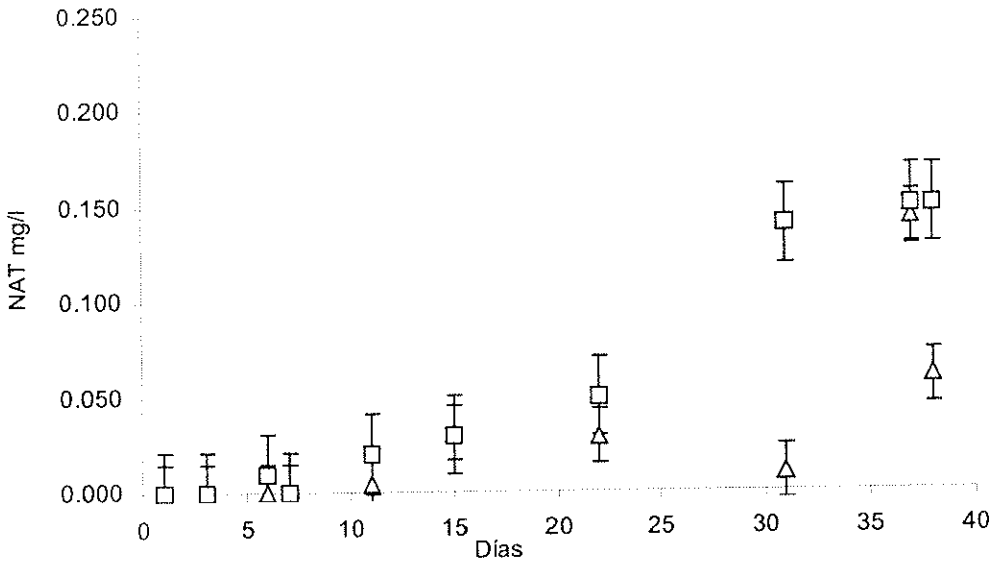


Figura 11. Concentración de NAT mg/l para el cultivo HIA (19.3 Pl L^{-1}). Δ-Mediciones. □- Modelación con el programa Stella 7.0.2.Media ± E.E.

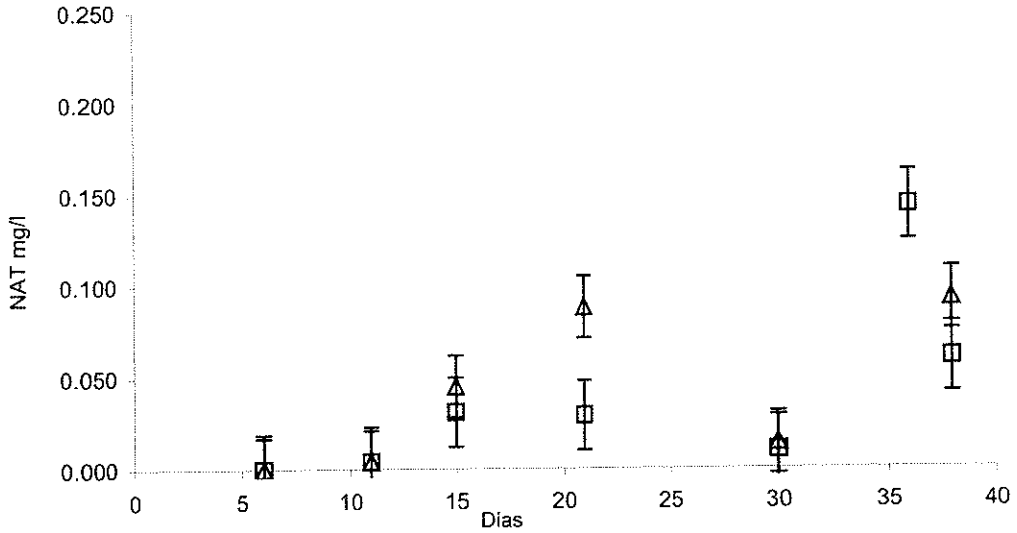


Figura 12. Concentración de NAT mg/l en el cultivo HIA (19.3 Pl L^{-1}). Δ-Entrada al biofiltro. □-Entrada a los estanques de cultivo. Media ± E.E.

La concentración promedio de nitritos para las categorías; SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fue de; 0.0, 0.0 y 0.503 (mg/l) respectivamente. Tabla VII.

Tabla VIII.- Concentración de NAT mg/l, nitritos mg/l registro de alimento suministrado (% biomasa/día) y flujo de agua en L min^{-1}, en las distintas categorías de cultivo de *L. vannamei*. Media ± error estándar, (n) y rango entre corchetes. Exponente **a** para la concentración de NAT indica que no existieron diferencias significativas entre las tres categorías de cultivo (alfa = 0.05).

Categoría	Concentración de NAT mg/l	Concentración de Nitritos mg/l	suministrado % de	Flujo de agua L min^{-1}
Súper-Intensivo (3 Pl L^{-1})	0.000^{a}±0.000(9) [0.000-0.000]	0.000±0.000(9) [0.000-0.000]	7.1±0.24 (44) [4-8]	5.5±0.49(44) [2-12]
Hiper-Intensivo Bajo (11.5 Pl L^{-1})	0.000^{a}±0.000(9) [0.000-0.000]	0.000±0.000(9) [0.000-0.000]	7.1±0.24 (44) [4-8]	5.5±0.49(44) [2-12]
Hiper-Intensivo Alto (19.3 Pl L^{-1})	0.031^{a}±0.016 (9) [0.000-0.0143]	0.503±0.260(9) [0.000-1.236]	7.1±0.24 (44) [4-8]	5.5±0.49(44) [2-12]

V.2. Factores ambientales.

La temperatura promedia registrada en las tres categorías de cultivo; SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fue de 27.0, 26.9, 26.0 y 29.0,29.1, 28.4 °C, respectivamente, para los datos tomados en la mañana y en la tarde.(Figuras 13 y 14, Tabla VIII). Las temperaturas mostraron una tendencia oscilatoria alrededor de los 28 °C

pero dentro del rango de tolerancia de la especie, .existiendo diferencias, debido principalmente al efecto del invernadero y a las fallas de los calentadores eléctricos utilizados en el sistema,

Tabla XIX.- Factores ambientales registrados, en las distintas categorías de cultivo de *L. vannamei.* Media ± error estándar, (n) entre paréntesis y rango entre corchetes.

Categoría	Temperatura °C Mañana y Tarde	Oxígeno Disuelto mg/l Mañana y Tarde	Salinidad Mañana y Tarde	PH Mañana y Tarde
Súper-Intensivo (3 Pl L^{-1})	27.0± 0.44 (44) [19.60-30.60]	5.4±0.13 (44) [3.9-8.0]	31.7±0.36 (44) [26.0-39.0]	8.00±0.03 (44) [7.65-8.70]
	29.0±0.35 (44) [20.8-32.6]	4.9±0.10 (44) [3.8-6.8]	31.7±0.38 (44) [26.00-37.60]	8.19±0.03 [7.70-8.50]
Hiper-Intensivo Bajo (11.5 Pl L^{-1})	26.9± 0.44 (44) [18.4-30.4]	5.7±0.14 (44) [4.1-9.0]	31.6±0.36 (44) [24.0-38.0]	8.00± 0.02 (44) [7.68-8.40]
	29.1±0.33 (44) [22.6-32.0]	5.0±0.10 (44) [4.0-6.5]	31.8±0.45 (44) [23.6-40.0]	8.10±0.03 (44) [7.70-8.50]
Hiper-Intensivo Alto (19.3 Pl L^{-1})	26.0± 0.44 (44) [20.0-30.80]	5.3±0.14 (44) [3.9-7.5]	31.3± 0.35 (44) [28.0-39.0]	7.90± 0.02 (44) [7.50-8.09]
	28.4 ±0.28 (44) [23.7-32.0]	5.3±0.84 (44) [3.2-7.0]	31.5±0.40 (44) [28.0-39.0]	7.90±0.03 (44) [7.50-8.20]

Los valores promedio de oxígeno disuelto (mg/l), para las tres categorías experimentadas: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fueron de 5.4, 5.7, 5.3 y 4.9, 5.0, 5.3 (mg/l) respectivamente, para los datos tomados en la mañana y tarde. (Figuras 15 y 16, tabla VIII). La tendencia fue a mantenerse alrededor de los 5 mg/l , sin embargo notamos que en el HIB y el HIA los valores fueron menores debido a la respiración de los organismos.

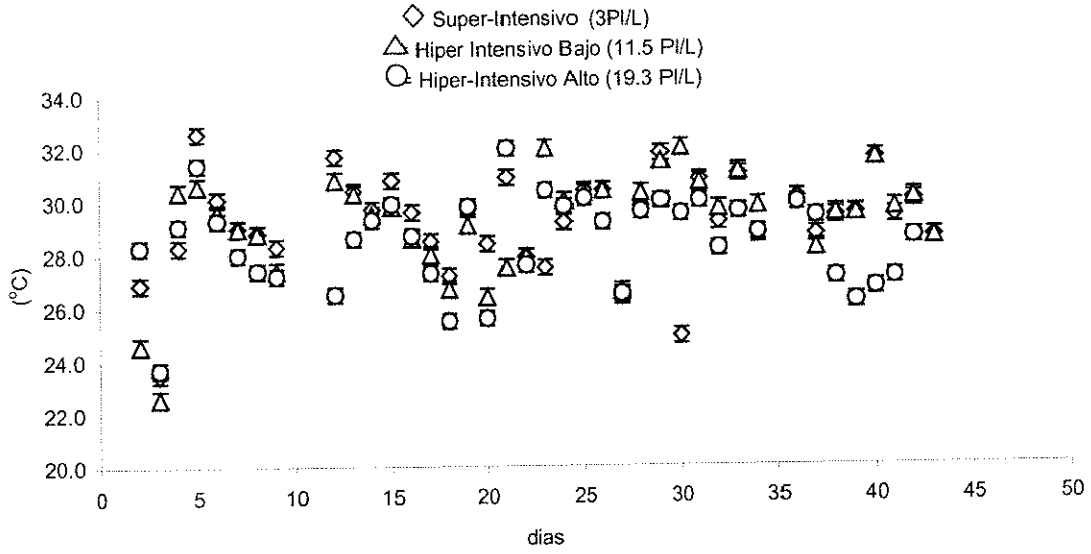


Figura 13.- Registro de temperaturas a las 09:00 horas en las tres categorías de cultivo de *L. vannamei*. Media ±E.E.

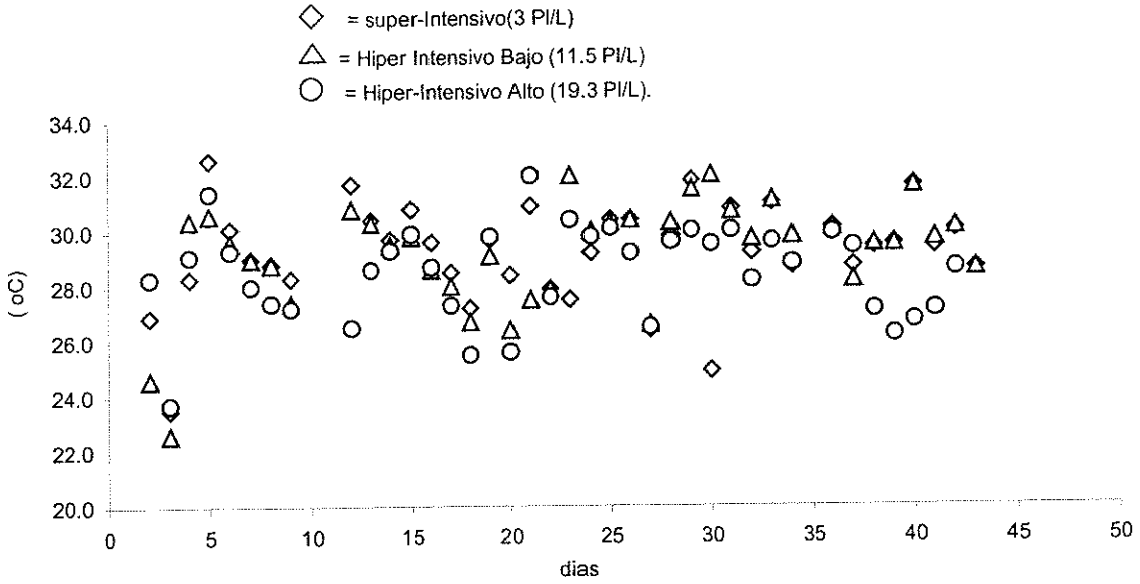


Figura 14.- Registro de temperaturas a las 18:00 horas en las tres categorías de cultivo de *L. vannamei*. Media ±E.E.

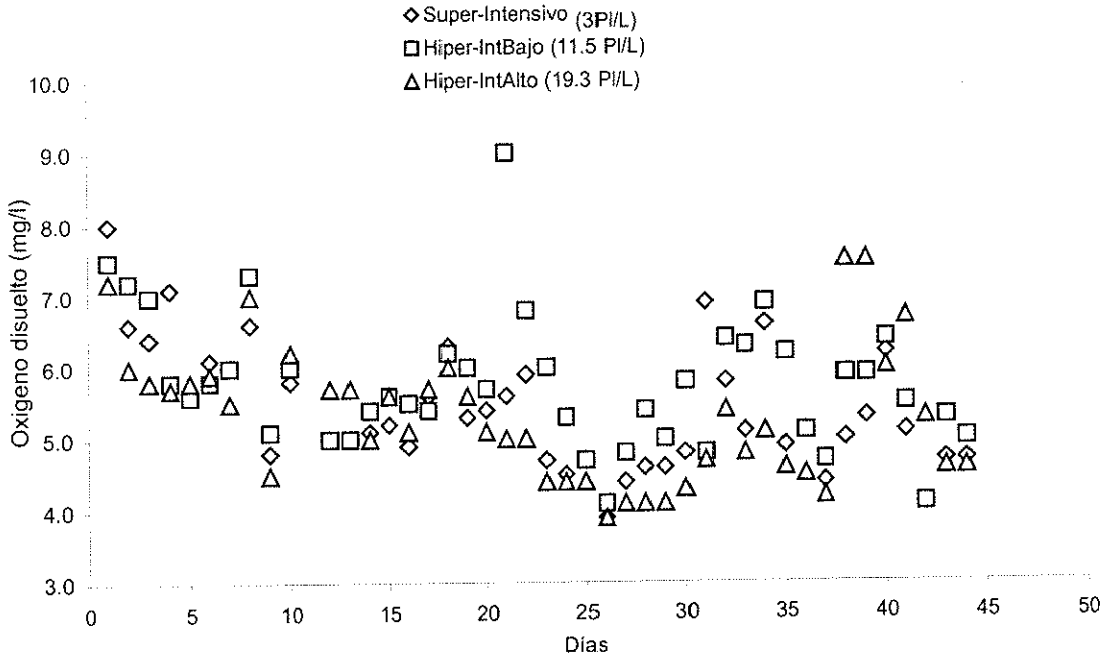


Figura 15. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

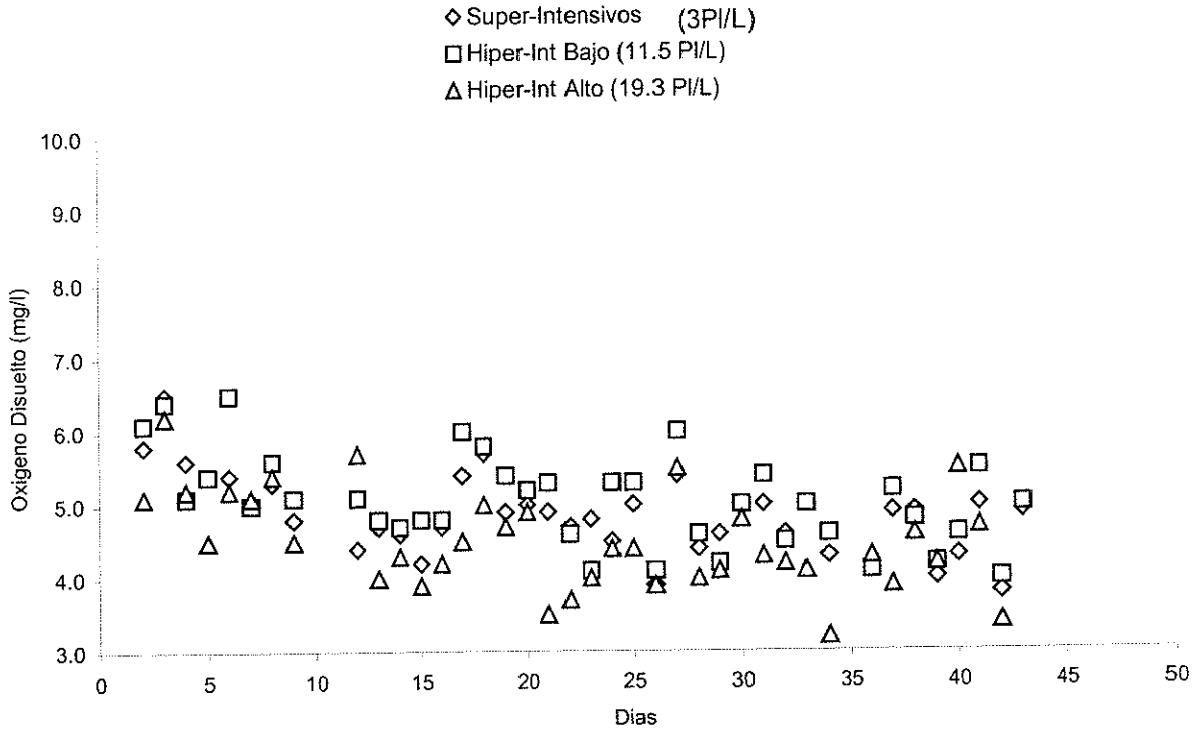


Figura 16. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

Los valores promedio de salinidad para las tres categorías experimentadas; SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}). fueron de; 31.7, 31.6, 31.3 y 31.7, 31.8, 31.5, respectivamente, para los datos tomados en la mañana y tarde. Figuras 17 y 18, tabla VIII. Al principio se tuvieron valores relativamente altos de salinidad debido a la evaporación y a la agregación de agua dulce para mantener un valor de 30, que fue logrado al final del experimento. Los datos de la mañana y la tarde tuvieron un comportamiento similar.

Los valores promedio de pH registrado en las categorías: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fueron de; 8.0, 8.0, 7.9 y 8.2, 8.1, 7.9 respectivamente, para los datos tomados en la mañana y tarde. Figuras 19 y 20, tabla VIII. Los valores mas bajos de pH se encontraron en el tratamiento HIA debido a la respiración de los organismos cultivados que se encontraban en mayor densidad produciendo mas CO_2 Lo cual tiende a disminuir el pH. El valor del pH en las tardes aumentaba porque las microalgas utilizan el CO_2 en el proceso de la fotosíntesis lo cual hace que el pH aumente.

V.3. Respuestas en crecimiento

Los pesos promedios registrados en las biometrías para las categorías: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), alcanzaron sus valores máximos al final del experimento; 0.433, 0.204 y 0.387 g., respectivamente. Estadísticamente existieron diferencias significativas ($P < 0.05$), entre las tres categorías de cultivo. Figura 21, tablas, IX, X y XI.

El Porcentaje de Supervivencia para las categorías: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}) fue de; 86.3, 75.8, 43.7 %, respectivamente. Tabla XI.

El rendimiento, es decir, el trabajo útil o eficiencia del sistema bajo las condiciones establecidas para las categorías: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fue de; 0.349, 0.145 y 0.155 (g/38 días), respectivamente. (Tabla XI). El valor mas alto fue en el tratamiento SI y el menor en el HIB, posiblemente debido al manejo, ya que en SI no se tuvieron grandes problemas con los calentadores, filtros y deshechos alimenticios, además que la mortalidad fue menor influyendo en el comportamiento de los organismos cultivados.

El valor promedio de alimento suministrado (% de la biomasa presente) fué de 7.1 % para las tres categorías experimentadas. Tabla VII. En la práctica el alimento suministrado para la etapa experimentada es de 5% hasta 10%, el cual tiene que ser administrado de acuerdo al comportamiento de los organismos cultivados, por lo que el porcentaje promedio utilizado está en el rango indicado (Davis y Arnold 1998).

Los valores promedio de flujo de agua para las tres categorías experimentadas fue de 5.5 L min^{-1}. Tabla VII. Este es otro de los factores que se tiene que administrar en el transcurso del cultivo, ya que al inicio no es necesario tener un flujo elevado. En el presente trabajo se inició con 2 L min^{-1} y a medida que se incrementó la biomasa y los deshechos , se aumento a 5 L min^{-1} para terminar el experimento con un flujo de 12 L min^{-1}.

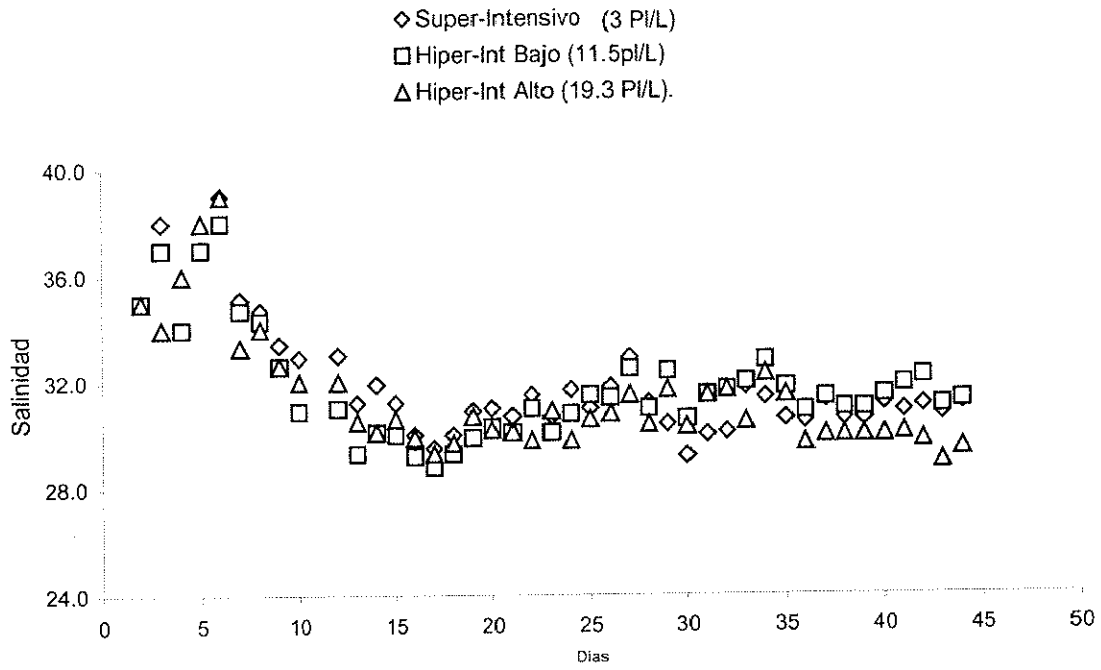


Figura 17. Salinidad registrada a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

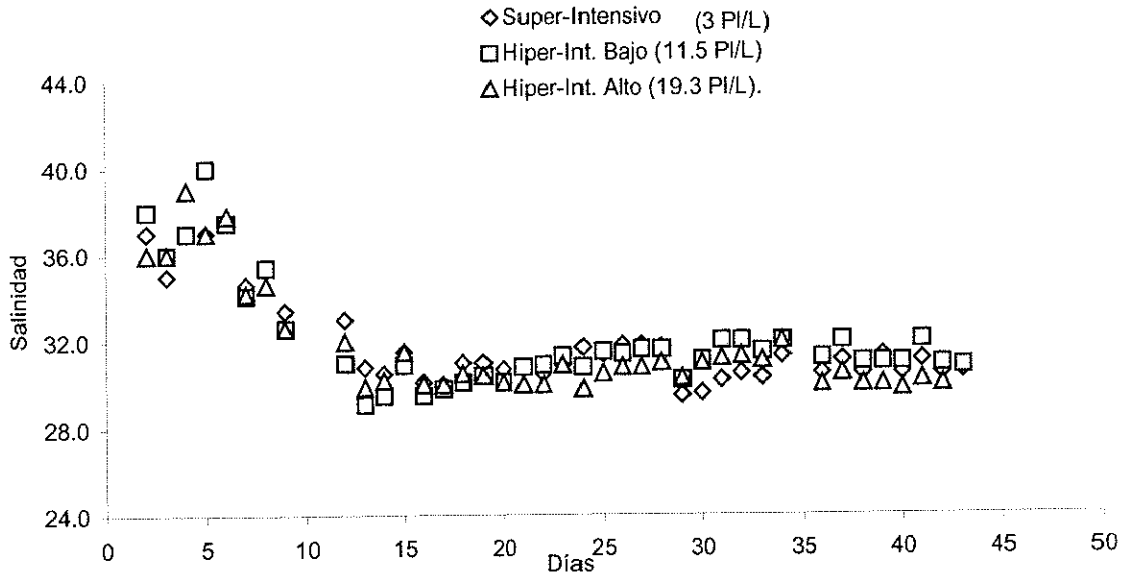


Figura 18. Salinidad registrada a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

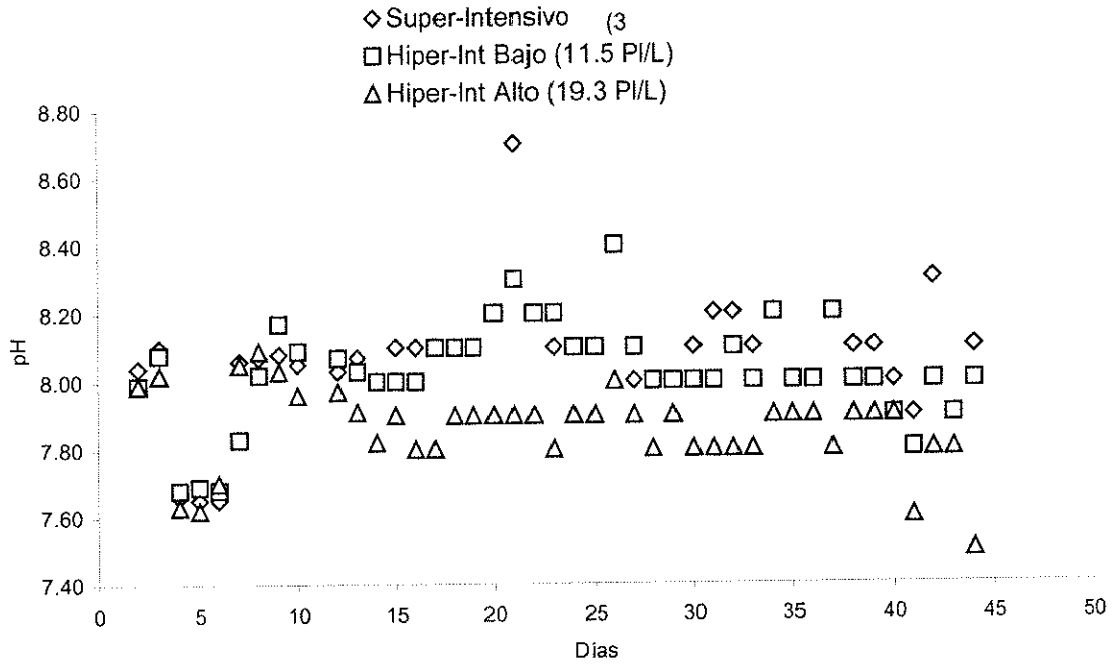


Figura 19. Valores de pH registrados a las 09:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

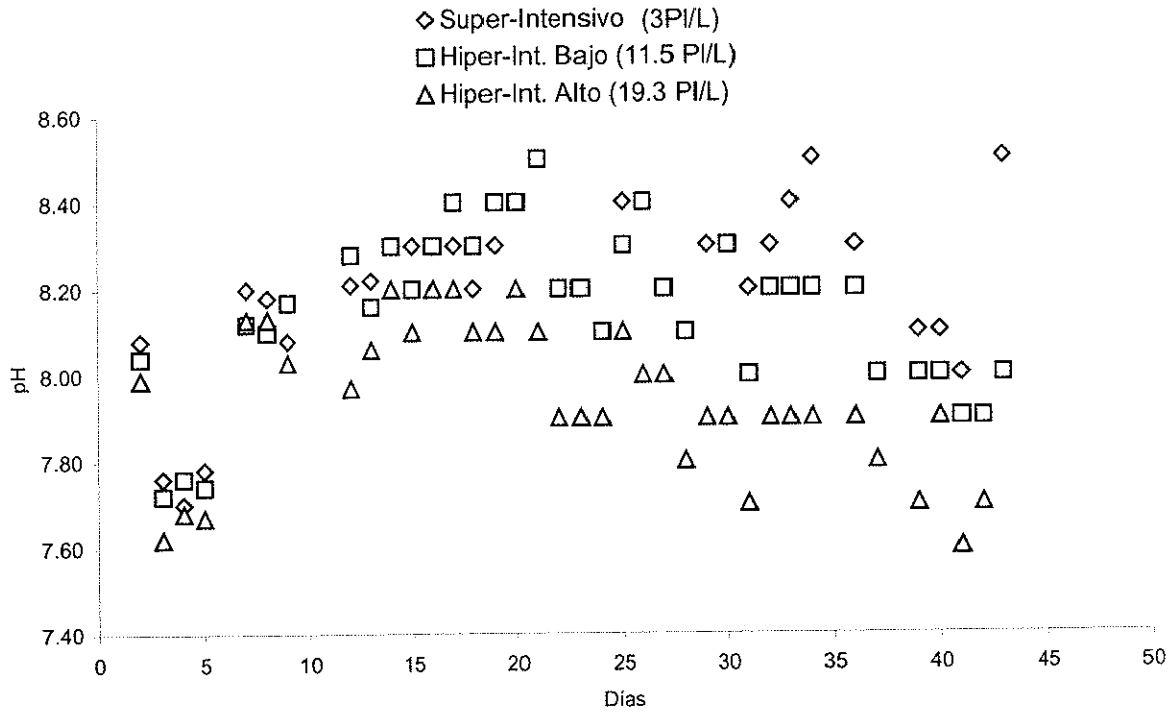


Figura 20. Valores de pH registrados a las 18:00 horas en los cultivos de *L. vannamei.* Media ±E.E.

Tabla X. Registro de los pesos (g) de los tres tratamientos. Media ± error estándar, (n) y rango entre corchetes.

Biometría	Súper-Intensivo (3 Pl. L^{-1}) gramos	Hiper-Intensivo Bajo (11.5 Pl. L^{-1}) gramos	Hiper-Intensivo Alto (19.3 Pl. L^{-1}) gramos
1	0.028 ±0.002(30) [0.011-0.048]	0.012±0.001(30) [0.005-0.032]	0.032±0.003(30) [0.011-0.097]
2	0.092±0.004 (30) [0.051-0.137]	0.038±0.004 (30) [0.010-0.090]	0.036±0.003 (30) [0.009-0.090]
3	0.130±0.011(30) [0.003-0.265]	0.055±0.004 (30) [0.017-0.092]	0.055±0.010(30) [0.003-0.335]
4	0.188±0.016(30) [0.080-0.410]	0.055±0.005(30) [0.020-0.130]	0.123±0.038(30) [0.040-1.140]
5	0.298±0.022(30) [0.130-0.590]	0.121±0.011(30) [0.040-0.370]	0.351±0.078(30) [0.100-1.280]
6	0.433±0.034(30) [0.200-1.110]	0.204±0.015(30) [0.040-0.370]	0.387±0.063(30) [0.050-1.560]

Tabla XI. Registro de los pesos (g) en los tres tratamientos. Mediana ± error estándar, (n) y rango entre corchetes.

Biometría	Súper-Intensivo (3 Pl. L^{-1}) gramos	Hiper-Intensivo Bajo (11.5 Pl. L^{-1}) gramos	Hiper-Intensivo Alto (19.3 Pl. L^{-1}) gramos
1	0.026 ±0.002(30) [0.011-0.048]	0.011±0.001(30) [0.005-0.032]	0.028±0.003(30) [0.011-0.097]
2	0.095±0.004 (30) [0.051-0.137]	0.035±0.004 (30) [0.010-0.090]	0.037±0.003 (30) [0.009-0.090]
3	0.124±0.011(30) [0.003-0.265]	0.056±0.004 (30) [0.017-0.092]	0.045±0.010(30) [0.003-0.335]
4	0.188±0.016(30) [0.080-0.410]	0.050±0.005(30) [0.020-0.130]	0.070±0.038(30) [0.040-1.140]
5	0.255±0.022(30) [0.130-0.590]	0.110±0.011(30) [0.040-0.370]	0.270±0.078(30) [0.100-1.280]
6	0.380^{a} ±0.034(30) [0.200-1.110]	0.180^{b}±0.015(30) [0.040-0.370]	0.290^{c}±0.063(30) [0.050-1.560]

Exponentes a, b, c para la última biometría indican diferencias significativas (alfa = 0.05).

La tasa de conversión alimenticia (TCA) para las categorías; SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) e HIA (19.3 Pl L^{-1}), fue de 1.34, 1.33 y 3.35, respectivamente. (Tabla XI).

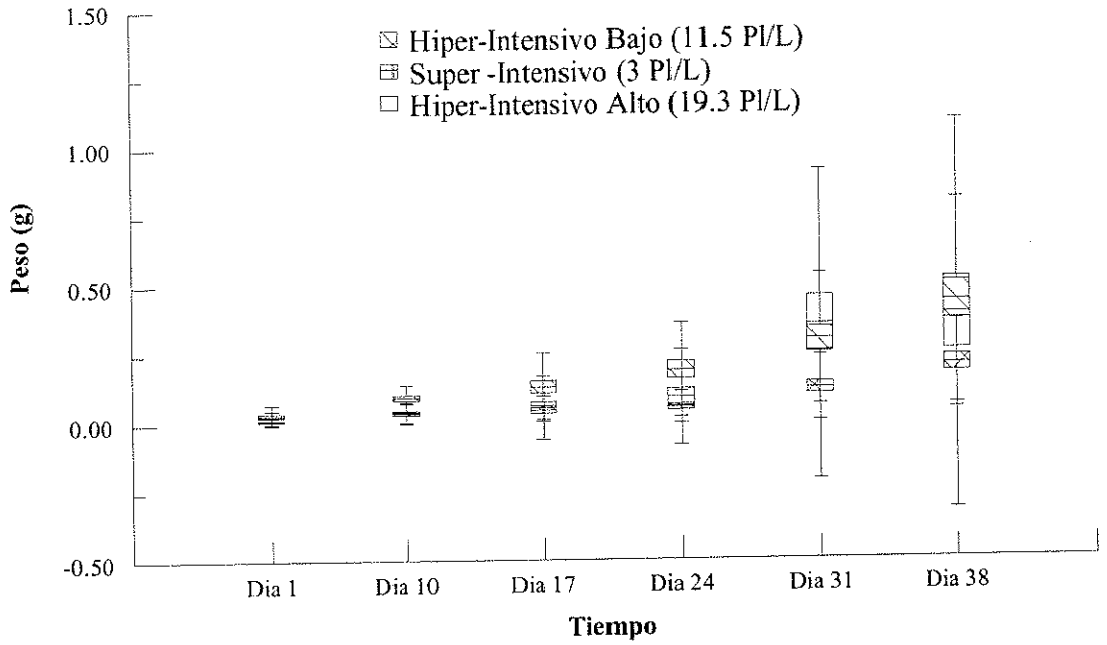


Figura 21.- Crecimiento (g) de *L. vannamei* registrado en las diferentes categorías de cultivo.

Tabla XII.- Variables de respuesta en crecimiento para los tres tratamientos. Crecimiento, supervivencia, rendimiento y tasa de conversión alimenticia.

Cattegoría	Densidad inicial	Densidad Final.	Supervivencia (%)	Crecimiento (G) gramos	Rendimiento (R) (gramos /38 días)	Tasa Conv. Alim. (TAC)
Súper-Intensivo (3 Pl L^{-1})	606	524	86.3	0.405	0.349	1.34
Hiper-Intensivo Bajo (11.5 Pl L^{-1})	2,333	1,769	75.8	0.192	0.145	1.33
Hiper-Intensivo Alto (19.3 Pl L^{-1})	3,917	1,214	43.7	0.355	0.155	3.35

VI. DISCUSIÓN.

En el análisis comparativo entre los resultados obtenidos en este trabajo con respecto a los siguientes autores, se observa que las condiciones en las que se desarrollaron estos experimentos, influyen de manera diferente en las respuestas de crecimiento y supervivencia de los organismos.

El modelo aplicado en este trabajo en función de la entrada y salida del NAT en el sistema, permitió incrementar la eficiencia en la alimentación y reducir las descargas de deshechos para lograr una calidad de agua referida a la concentración del NAT y nitritos (NO_2^-) por debajo de los valores reportados como críticos, para esta especie en sistemas de recirculación (Samocha *et al.,* 1993; Davis y Arnold, 1998; Palominio *et al.*, 2001; Taboada *et al.*, 1998, Malone, 2000). En cultivos intensivos de *P. monodon* (137 Pl/m^2) las concentraciones de NAT son del orden de 1.0 g/l estos valores son considerados muy elevados, por lo que se ha requerido modelar para controlar la calidad de agua (Ladegaard, 2000). Esta concentración es 7 veces mayor a la registrada en la categoría HIA (3,976 Pl/ m^2), en la cual obtuvimos un máximo de 0.143 mg/l NAT.

La concentración de NAT (0.250 mg/l) establecida en el presente trabajo, se mantuvo por encima de los resultados obtenidos. Esto confirma que el sistema de biofiltración utilizado en el tratamiento de agua de mar fue eficiente.

Resultados con *P. setiferus* presentan una excreción nitrogenada post alimentaria (ENPA) de 0.002 mg/l N-NH_3 / gps/hora (Taboada *et al.*, 1998). Lo anterior equivaldría a una concentración de NAT de; 0.424; 0.679 y 0.866 mg/l para las categorías: SI (3 Pl L^{-1}), HIB (11.5 Pl L^{-1}) y HIA (19.3 Pl L^{-1}), respectivamente. La densidad de cultivo del

presente trabajo fue 64 veces mayor que la reportada por Taboada *et al.*(1998) logrando concentraciones de NAT menores, utilizando biofiltros.

Samocha *et al.* (1993), presentan resultados sobre la concentración de NAT en cultivos HI de postlarvas de *L. vannamei* (4,000 y 7,800 Pl m^2) donde se registraron valores en el intervalo de 0.017 a 0.923 mg L^{-1}, respectivamente. En este trabajo la concentración máxima de NAT (0.143 mg/l), se encontró en la parte inferior del intervalo que presentan los autores anteriormente mencionados. Una vez más, se considera que la utilización de biofiltros acoplado al sistema de recirculación de agua fueron las principales diferencias en el diseño experimental, ya que los primeros autores utilizaron sistema de flujo continuo el cual no contempla el uso de los biofiltros.

En cultivos intensivos de *L. setiferus* la concentración de amoníaco ($N\text{-}NH_3$) mg/l varió con el tiempo, la biomasa y el intercambio de agua (18% / día). A una densidad de 350 Pl/m^2 se registraron los valores mas altos de amoníaco de 0.230 mg/l (Palomino *et al.*, 2001). La concentración máxima de NAT en el presente trabajo fue 0.143 mg/l, bajo el sistema de recirculación con biofiltros, con una densidad de 11 veces mayor a la reportada (Palomino *et al.*, 2001).

En estudios realizados con reproductores de *P. vannamei* , se han obtenido valores de NAT en los rangos de 0.106 a 1.62 mg/l para una biomasa de 478 g/m^2, esta concentración alcanzo un máximo de 0.6 mg/l a los 13 días y las de nitritos (NO_2^-) registraron valores de 0.1 mg/l a los 27 días, bajo el sistema de recirculación (Feng *et al.*, 1991). En este estudio, las concentraciones de NAT, se mantuvieron en 0.143 mg/l y las de nitrito (NO_2^-) presentaron valores promedio de 0.503 mg/l, ubicándose dentro del rango indicado. En ambos experimentos se utilizó el sistema de recirculación de agua de

mar con biofiltros. Las bajas concentraciones de NAT son posibles a la utilización de los productos nitrogenados (NH_3, NH_4^+ y NO_2^-), que son la fuente de energía, por microorganismos que colonizan los gránulos de polietileno dentro del biofiltro. Esta sucesión de especies es primero por el consorcio de bacterias que utilizan los compuestos amoniacales y posteriormente por las bacterias que utilizan el nitrito (NO_2^-), de acuerdo al material y estructura del biofiltro y su media (Zheng *et al.*, 1995: Malone y Beecher, 2000).

En el presente trabajo en la última semana de cultivo para la categoría HIA (19.3 Pl L^{-1}) se obtuvieron incrementos en la concentración de NAT, debido al acumulación de sólidos en los estanques. Los sólidos son la principal fuente de materia orgánica , especifica específicamente los compuestos nitrogenados , por lo que se deben de eliminar a rápidamente. Este tipo de problemas es común en los cultivos HI de peneidos, bajo el sistema de recirculación (Davis y Arnold 1998). Samocha *et al.* (1993), en cultivos HI de postlarvas de L. *vannamei* (4,000 y 7,800 Pl/m^2) registraron valores de 0.004 a 0.017 (NO_2^-) mg/l respectivamente. La concentración promedio de nitritos 0.503 mg/l (NO_2^-), en el presente estudio estuvo por arriba de la obtenida por los autores anteriormente citados. Probablemente la colonización de las bacterias nitrificadoras (NO_2^-) del biofiltro requiera de más tiempo (maduréz) para lograr las bajas concentraciones (Davis y Arnold, 1998) . Sin embargo los valores reportados están en el rango de tolerancia de *L. vannamei* (Masser *et al.*, 1999 ; Davis y Arnold, 1998: Zheng *et al.*, 1995).

Palomino *et al.* (2001), en cultivos intensivos de postlarvas de *L setiferus* en sistema abierto, reportan valores de nitritos (NO_2^-) 6.5 mg/l. Davis y Arnold (1998), en cultivos Hiper-intensivos de *L. vannamei* utilizando sistemas de recirculación, registraron

valores de 0.12 a 1.48 mg/l y Masser *et al.*(1999) recomiendan mantener la concentración de nitritos < 0.5 mg/l para especies cultivadas bajo el sistema de recirculación de agua. En este estudio se obtuvieron valores promedio de nitritos 0.503 mg/l coincidiendo con los resultados de los segundos autores y bajos respecto a los primeros. El diseño experimental empleado en el presente estudio difiere del utilizado por Palomino *et al.* (2001) principalmente en el intercambio de agua, ya que estos autores renovaban el 18 % del volumen de agua diario con volúmenes de 8 litros y filtros de 5 micras, mientras que en el presente trabajo utilizamos el sistema de recirculación de agua con biofiltros de 18 litros y estanques de 202 litros.

Los factores ambientales mas importantes en sistemas de recirculación de agua son: Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg L^{-1}), salinidad y pH.

Los valores promedio de temperatura registrados en el presente estudio, se encuentran en el rango de 24 a 32 °C, considerado como aceptable para *L. vannamei* (Feng *et al.*, 1991; Davis y Arnold, 1998; Lester y Pante, 1992; Wyban *et al.*, 1995; Ponce-Palafox *et al.*, 1997). Moore y Brand (1993) consideran 28 °C como él óptimo para el desarrollo de *L. vannamei.*

El rango de salinidad que soportan los camarones peneidos, particularmente *L. vannamei* se ha demostrado que es muy amplio de 5 a 50, considerándose como una especie eurihalina (Van Wyk, 2001). Sin embargo se gasta menos energía en los procesos metabólicos cuando el organismo está en un medio isosmótico, por lo tanto es de esperarse que alcancen crecimiento máximo y alta supervivencia, al encontrarse en ese medio (Jobling, 1981; Panikkar, 1969). Investigaciones realizados en cultivos de *L. vannamei* consideran salinidades de 26 como medio isosmótico para su desarrollo (Díaz

et al., 2001). Sin embargo en cultivos de postlarvas de *F. paulensis*, se reporta que los procesos fisiológicos bajo diferentes salinidades (5,15,25 y 34) no causaron variaciones consistentes en el gasto energético medido con el consumo de oxígeno (Panikkar, 1969).

Los resultados de este trabajo muestran que la salinidad promedio registrada estuvo por arriba del punto isosmótico (31.3-31.7) por lo que los organismos se desarrollaron en un medio hiper-osmótico lo cual pudo influir disminuyendo el crecimiento y supervivencia de acuerdo con Jobling (1981); Panikkar (1969); Díaz *et al.* (2001).

En investigaciones realizadas sobre la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) bajo los sistemas de recirculación de agua, se señala que, debe estar cercano a 5 mg/l (Masser *et al.*, 1999). Observaciones de la concentración de oxígeno disuelto, en cultivos SI e HI (2 a 8.3 Pl L^{-1}) de *L. vannamei* y *L. setiferus*, muestran valores entre 5.3 a 7.0 mg/l (Davis y Arnold 1998). En el presente estudio el valor mínimo de oxígeno disuelto fue de 3.2 mg/l y el valor promedio estuvo cerca de 5.0 mg/l.

Rosas *et al.* (1998) y Martínez *et al.* (1998) obtuvieron tasas de crecimiento para (Pl_{27}) de *P. setiferus* mantenidas a 2 mg/l de oxígeno disuelto fue 32% menor que las expuestas a 3 y 4 mg/l y la mortalidad del 100% se registró en las concentraciones de 0.3 y 1.8 mg/l de oxígeno disuelto. Estos resultados demuestran que la concentración de oxigeno disuelto es de vital importancia para el desarrollo de los cultivos bajo el sistema de recirculación. Las concentraciones anteriores estuvieron por debajo de los valores promedio de 5.0 mg/l de oxigeno disuelto obtenidos en el presente trabajo y recomendados por Masser *et al.* (1999).

Se ha demostrado que los efectos del suministro de aire en la supervivencia y crecimiento de *P. vannamei* cultivados en estanquerías con bajo recambio de agua y diferentes tasas de aireación (0, 6, 12 y 24 horas día^{-1}), fueron mayores en las estanquerías con 12 y 24 horas de aireación (Martínez-Córdova *et al.*, 1997). Los resultados de este trabajo muestran valores promedios cercanos a 5 mg/l durante toda la fase experimental, lo cual coincide con los valores recomendados por Masser *et al.* (1999). Se considera que valores arriba de 5 mg/l en la concentración de oxigeno disuelto permite desarrollar a los organismos favorablemente cuando estos son sometidos a cultivos SI e HI (Davis y Arnold 2000). En el presente trabajo registramos concentraciones por debajo de este valor, sobre todo en la categoría HIA, debido principalmente a la respiración de los organismos.

El manejo apropiado del pH es fundamental para la operación de los sistemas de recirculación de agua. El pH controla una variedad de reacciones que influyen en la concentración de compuestos químicos a los cuales son sensibles los organismos. La relación del ion amonio (NH^+_4) sobre el amoníaco (NH_3) es controlada por el valor del pH. Cuando el amoniaco (NH_3) se disuelve en el agua reacciona con el ion hidrógeno para formar el ion amonio (NH^+_4) por eso en una solución ácida donde existen iones hidrógeno el amoniaco se convierte en ion amonio y en una solución básica (pH > 9.3) predomina el amoniaco (NH_3) (Malone, 2002). La actividad nitrificadora de las bacterias que se encuentra en el biofiltro también es regulada por el valor del pH y ésta es más eficiente en el intervalo de 7.5 a 8.0 (Feng *et al.*, 1991; Loyless y Malone 1997).

Resultados obtenidos en cultivos Hiper-intensivos (4,120-7,830 Pl/m^2) de *P. vannamei*, con intercambio de agua, registran valores de pH entre 6.7 y 9.7 (Samocha *et*

al., 1993). En cultivos intensivos (50 Pl/m^2) de *P. setiferus,* el pH se mantuvo en 8.0 durante un período de 50 días (Rosas *et al.*, 1998). Por su parte Masser *et al.*(1999) recomiendan valores de pH entre 7 y 8 para diversas especies cultivadas bajo el sistema de recirculación y Davis y Arnold (1998) en cultivos HI de *L. vannamei* y *L. setiferus* obtuvieron valores de 7.4 y 7.7 pH. En el presente estudio los valores promedio de pH estuvieron entre 7.9 y 8.2, con valores altos en la categoría SI y valores bajos en la HIA. Estos valores difieren del intervalo que presentan Samocha *et al.*(1993), el cual no es apropiado para los sistemas de recirculación, por lo señalado por Loyless y Malone (1997). Los valores de pH registrados en este estudio están en el intervalo recomendado por Masser *et al.*(1999); Rosas *et al.*(1998); Davis y Arnold (1998).

En los cultivos HI el valor del pH tiende a ser menor, debido a la respiración de los organismos que aumentan la concentración de CO_2, por lo que se deben tomar medidas para incrementarlo y mantenerlo en los rangos óptimos del sistema (Malone y Beecher 2000). Algunas medidas para aumentar el pH son la degasificación para expulsar el CO_2 disuelto en el agua y agregar bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) para disminuirlo, manteniéndolo en el rango óptimo Loyless y Malone (1997); Losordo *et al* (1992).

En cultivos HI (4,210 y 7,830 Pl/m^2) de postlarvas de *P. vannamei*, se han encontrado tasas de crecimiento de 0.0687 y 0.0647 g en un período de 35 días, no encontrando diferencias significativas (P = 0.5655) entre los dos grupos. Asimismo los porcentajes de supervivencia logrados para ambos grupos fueron de 100 y 94.9 % y la tasa de conversión alimenticia fue de 0.62 y 0.68, respectivamente, no existiendo diferencias significativas (p= 0.2018) (Samocha *et al.*,1993). La tasa de crecimiento obtenidas en el presente trabajo para SI, HIB e HIA (0.405, 0.192 y 0.355 g) fueron

mayores a los valores indicados. Sin embargo, los porcentajes de supervivencia (86.3, 75.8 y 43.7%) fueron menores y las tasas de conversión alimenticia (1.34, 1.33 y 3.35) presentaron valores mas elevados. Estas diferencias en los resultados se deben principalmente al diseño experimental y a la temporada en que se realizó el experimento. El presente estudio se llevó a cabo en otoño cuando las temperaturas están por arriba de 20 °C bajo la modalidad del sistema de recirculación con biofiltros, en comparación con Samocha *et al.*(1993), realizado en primavera, cuando las temperaturas se encuentran por debajo de los 20 °C y utilizó el sistema abierto. La temperatura aumenta o disminuye el metabolismo siendo más eficiente en los rangos de la temperatura preferida, la cual ha sido considerada como 28 °C para *L. vannamei* obteniéndose valores mas altos de crecimiento y supervivencia (Lester y Pante1992; Wyban et al., 1995).

Rosas *et al.* (1998) en cultivos intensivos (0.2 Pl L^{-1}) de *P. setiferus,* encontraron valores de crecimiento (0.273 g de peso seco), supervivencia del 77% y rendimiento de 0.210 (g de peso seco en 50 días). En el estudio citado el porcentaje de supervivencia coincide con 75.8 obtenido en la categoría HIB del presente trabajo. No se puede establecer una comparación exacta en cuanto a crecimiento y rendimiento, ya que los valores son calculados con relación a peso seco y en el presente estudio se registraron en relación con peso húmedo.

Taboada *et al.*(1998) han registrado diferencias significativas ($p<0.05$) para cultivos intensivos (0.3 Pl L^{-1}) de *P. setiferus*, con peso inicial de 0.190 g, alimentados con diferentes niveles de proteínas. En el nivel de 30% de proteínas, considerado como óptimo, se obtuvo un crecimiento de 1.15 g en 45 días, con valores de supervivencia y rendimiento de 81% y 0.81 g en 45 días, respectivamente. El nivel de proteína utilizado

en el presente estudio (40%) se encuentra por encima del valor óptimo encontrado por los autores citados. Sin embargo, el peso inicial de los organismos cultivados fue mucho menor (0.024 g) estableciendo diferencias en el crecimiento y rendimiento. La supervivencia en las categorías SI (86.3 %) y HIB (75.8 %) estuvieron muy cercanos al 81% reportado (Taboada *et al.*,1998). Posiblemente la diferencia en la supervivencia se deba a que Taboada *et al.*(1998), utilizaron diferente especie en los experimentos, la composición de la dieta fue distinta, los valores de pH fueron 8.5 ± 0.5 , el intercambio de agua fue del 50% diario y el manejo de los organismos fue mas intenso, provocando estrés en los organismos cultivados.

El crecimiento, supervivencia y rendimiento se han registrado en cultivos intensivos de postlarvas (350 Pl/m^2) de *L setiferus*, encontrándose valores de 0.010 g, 81 % y 0.008 g en 28 días respectivamente (Palomino *et al.*, 2001). En contraste con los resultados obtenidos los valores arriba mencionadas son menores que el crecimiento (0.192 g) y el rendimiento (0.145 g en 38 días) de la categoría HIB. La diferencia en los diseños experimentales de recirculación de agua biofiltrada utilizados en el presente estudio comparada con el sistema abierto utilizados por los primeros autores, pueden ser la causa de estos resultados, aunado a la especie cultivada.

Por su parte Moore y Brand (1993), en estudios realizados con cultivos SI de *P. vannamei* (600 juveniles de 1.67 g/m^2), lograron valores de; Crecimiento 3 g; supervivencia 94%, rendimiento 2.82 y tasas de conversión alimenticia de 1.20, en un período de 28 días. Las tasas de crecimiento obtenidas en el presente estudio (0.405, 0.192 y 0.355 g) fueron menores, considerando que el peso inicial de los organismos fue más pequeño La supervivencia mas alta fue obtenida en la categoría SI de 86.3 %.

En cultivos HI (8.3 Pl_{8-15} L^{-1}) de *P. vannamei*, se han registrado valores de; crecimiento 0.37 g; supervivencia 96% y tasa de conversión alimenticia de 0.96 para un periodo de 31 días (Davis y Arnold 1998). En este estudio el crecimiento registrado en la categoría HIA fue de 0.355 g, la supervivencia en SI fue de 86.3 % y la tasa de conversión alimenticia en HIA fue 1.33. Las condiciones impuestas en ambos estudios son similares (tallas iniciales, tiempo de cultivo, especie y sistema de recirculación).

Cultivos HI (4,300 y 7,800 pl/m^2), realizados con *P. vannamei* utilizando el sistema abierto, no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.5655$) en los pesos promedios finales de estos dos grupos (Samocha *et al.*, 1993). En este estudio existieron diferencias significativas en los pesos finales de las tres categorías SI, HIB e HIA, por lo que no coinciden con los resultados obtenidos por Samocha *et al.* (1993), ya que los sistemas de cultivo utilizados difieren en su operación.

Las diferentes biomasas probadas (SI, HIB e HIA), afectaron el crecimiento de los organismos debido a otros factores: canibalismo, restos de alimento y estrés, los cuales no se presentaron con la misma intensidad dentro de los estanques de cultivo. Sin embargo, se observó que el flujo de agua (5.5 L $min.^{-1}$) pudo incrementarse con la finalidad de reducir el tiempo de retención dentro de las unidades experimentales.

VII. CONCLUSIONES.

La aplicación de modelos en sistemas de producción con recirculación de agua es una herramienta necesaria en el cultivo de peneidos ya que hace mas eficiente el suministro de alimento, reduce el impacto de desechos, incrementa la tasa de crecimiento y mejora la calidad del agua.

El efecto de la biomasa sobre la calidad del agua en las categorías; SI, HI B y HIA, no presentó diferencias significativas ($p< 0.05$) en relación con la concentración de NAT. Estos resultados favorecen la utilización de pre-criaderos con altas densidades en ambientes controlados como una alternativa para el crecimiento de camarones.

La densidad de cultivo sobre la variable de respuesta del crecimiento, para las categorías; SI, HIB y HIA, presentaron diferencias significativas ($p< 0.05$), entre los tres grupos experimentales. La supervivencia y el rendimiento resultaron favorables en el tratamiento SI (3 Pl L^{-1}).

BIBLIOTECA
CICESE

VIII. RECOMENDACIONES.

La utilización de sistemas de producción en los cultivos de post larvas de *L. vannamei* se pueden combinar con la fase de engorda, para hacer más rentable la actividad acuícola.

Los cultivos en los tratamientos de este estudio con bajo recambio de agua y bajo impacto de deshechos pueden ubicarse cercanos a las áreas de mercado para facilitar una producción continua de estos organismos.

La operación y control de cultivos con sistemas se perfilan como la tecnología del futuro para la industria acuícola.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la viabilidad del uso de los sistemas de recirculación de agua de mar, para el cultivo SI y HI de postlarvas y juveniles de camarón *L. vannamei* en esta región litoral del Pacífico Mexicano.

LITERATURA CITADA.

Bardach J. E., Ryther J. H., McLarney William O.T. 1972. "Shrimp Culture": The Farming and husbandry of fresh and marine organisms. Wiley-Interscience, New York, 587-632 p.

Bardach J. E., Ryther J. H., McLarney William O.T. 1986. Acuacultura. Crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. AGT Editores S. A. Primera edición. México D. F. 741 pp.

Bart R., Arnold C.R. 1992. The Intensive Culture of the penaeid shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a Recirculating System. Journ of the W.A.S. : Vol 23 2: 146-156 pp.

Bohl, M. 1977. Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems. Aquaculture,11:323-328 pp.

Bray, W. A., Lawrence A. L., Leung-Trujillo J. R., 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. Aquaculture. 122: 133-146 pp.

Browdy C. L. 1998. Recent developments in penaeid broodstock and seed production technologies: improving the outlook for superior captive stocks. Aquaculture 164: 3-21 pp.

Chen J. C., Lin M. N., Ting Y. Y., Lin J. N., 1995. Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperatures levels. Comp. Biochem. Physiol, 3: 253-258 pp.

Chamberlain G. 1987. Intensive Pond Management. Texas Agriculture Extension Service.Volume IV No. 1 : 1-12 pp.

Davis D. A., Arnold C.R.,1998. The Design, management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp. Aquaculture Eng., 17 : 193-211 pp.

Díaz Herrera, F., Farfán C., Sierra E., Re A. D., 2001. Effects of temperature and salinity fluctuation on the ammonium excretion and osmorregulation of juveniles of *Penaeus vannamei*, Boone. Mar. Fresh. Behav. Physiol. 1-12 pp.

FAO 1998. World Production of Shrimps and Prawns. FAOSTAT Fisheries Data.Vol 87: 150-151 p.

Fen C., Reid B., Arnold R. 1991. Maturing, Spawning and Egg Collecting of White Shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a Recirculating System. Jour. World Aqua. Society. 22:No. 3: 167-172 pp.

Fraire Astrain H.L., Acosta Ruiz, M. de J., Barón Sevilla B., 2000. Efecto de la Acción del ácido ascórbico (AA) y la astaxantina (AX) en la resistencia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, expuesto a estrés por Amonio.V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Mérida Yucatán, México.

Hardy R. W. 1999. Collaborative opportunities between fish nutrition and other disciplines in aquaculture: an overview. Aquaculture 177: 217-230 pp.

Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum, rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. J. Fish. Biol. 19: 439-455 pp.

Kitami H., Alvarado J. N. 1982. The Larval Development of Pacific Brown Shrimp *Penaeus californiensis* Holmes reared in Laboratory. Bull., Jap., S., of S., Fish. 48 (3); 375-389 pp.

Kuo-Feng T., Huei-Meei Su, Mao-Sun Su. 1998. Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system. Aquaculture Eng. 17: pp 138-147.

Kureshy N., Davis D. A. 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific White shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Vol. 204 (1-2).125-143. p

Ladegaard M., 2000. Nitrogen Cycle in a Shrimp Pond FCTUC: 1-11 pp.

Lazo J. P., Davis D.A. 2000. Ingredient and Feed Evaluation. En Robert. R. Stickney (eds.) Encyclopedia of Aquaculture. John Wiley and Sons, Inc. New York. pp 453-462.

Lester, L. J., Pante M. J. R. 1992. Penaeid temperature and salinity responses. A.W. Fast y L. J. Lester (eds.). Marine shrimp culture: principles and practices. Elsevier. Ámsterdam. 515-534 pp.

Lee P.G., Lea R.N., Dohmann E., Prebilsky W., Turk P.E., Ying H.,Whitson J.L. 2000. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem. Aquaculture Eng., 23(1-3): 37-59 pp.

Losordo T. M., Masser M. P., Rackocy J. 1998 Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An overview of Critical Considerations. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 451.

Losordo T. M., Rackocy J. E., Masser M. P. 1992. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Component options. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 453.

Loyless J. C., Malone R. F., 1997. A sodium Bicarbonate Dosing Methodology for pH Management in Freshwater-Recirculating Systems. The Progressive Fish Culturist. 59: 198-205 pp.

Malone F. R., 2002. Recirculating Aquaculture Systems: Practical Tools. Curso Intensivo. CICESE y LSU. Departamento de Acuicultura y Biotecnología Marina. Del 31 de Julio al 14 de Agosto. Ensenada B.C. México.

Malone R. F., Beecher L. E. 2000. Use of floating bead filters to recondition recirculating eaters in warmwater aquaculture production systems. Aquaculture Eng. 22 : 57-73 pp.

Martin J.W., Davis G.F. 2001. An updated classification of the Recent Crustacea.Natural History Museum of Los Angeles County. Science Series 39: 124 p.

Martinez E., Aguilar M., Trejo L., Hernandez I., Diaz-Iglesia E., Soto A. L. Sanchez A., Rosas C. 1998. Lethal low dissolved oxygen concentrations for postlarvae and early Juvenile *Penaeus setiferus* at different salinities and pH. Journal of World Aquaculture Society. 29(2): 221-229 pp.

Martinez-Cordova L. R., Porchas-Cornejo M. A., Villareal-Colmenares H., Calderon-Perez J. A., Naranjo-Paramo J., 1998. Evaluation of three feeding strategies on the culture of white shrimp *Penaeus vannamei* Boone 1931 in low water exchange ponds. Aquaculture Eng., 17 (1): 21-28 pp.

Martinez-Cordova L., R., Villarreal-Colmenares H., Porchas-Cornejo M. A., Naranjo-Paramo J., Aron-Noriega A. 1997. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. Aquaculture Eng. 16(1-2): 85-90 pp.

Masser M. P., Rackocy J., Losordo T. M., 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 452.

Moore D. W., Brand C. W. 1993. The culture of Marine shrimp in controlled environment Super Intensive Systems. En CRC Handbook of Mariculture 2nd., edition vol 1; Crustacean Aquaculture. Ed. James P. P. McVey. Boca Raton; 315-348 p.

Ochoa Solano J.L., Acosta Ruiz M. de J., Fraire Astrain H.L. 2000. Diseño y Evaluación de un alimento microligado en el Larvicultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei.* V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Mérida Yucatán, México.

Palomino G., Contreras F., Sánchez A., Rosas C. 2001. Density and water Exchange-Dependent Growth an Survival of *Litopenaeus setiferus*. Journal of WAS Vol 32 No. 2: 167-176 p.

Panikkar N. K., 1968. Osmotic behaviour of shrimps and prawns in relation to their biology and culture. FAO Fish. Rep. 57: 527-538 p.

Paredes Escalona E., Acosta Ruiz M. de J., 2002. Evaluación de ingredientes regionales de Baja California en la alimentación del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (STIMPSON) en sistemas Súper-Hintensivo. VI Congreso Internacional de Nutrición Acuícola. Mérida Yucatán, México.

Ponce Palafox J., C. A. Martínez Palacios y L. G. Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp *Penaeus vannamei* Boone 1931. Aquaculture. 157: 107-115 pp.

Purina 2002. Seminario:" Manejo de Cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*" Mexicali, B.C. 26 de noviembre del 2002.

Primavera J.H. 1998. Preface: Second International Conference on the Culture of Penaeid Prawns and Shrimps. Aquaculture 164: 1-2 pp.

Ramos-Trujillo L., Vasconcelos Gesteira T., 1997. Reproducao controlada de camaroes peneideos. Laboratorio de Ciencias do Mar-Labomar. Universidade Federal do Ceará: 1-63 pp.

Robertson L., Samocha T., Gregg K., Lawrence A. 1992. Potencial de engorda postcriadero de *Penaeus vannamei* en sistema Intensivo tipo "raceway". Ciencias Marinas 18(4) 47-56 pp.

Rosenberry R. 1994. World shrimp farming 1993. Aquaculture Digest, San Diego, USA. 52 p.

Rosas C., Martinez E., Gaxiola G., Brito R., Diaz-Iglesia E., Soto L. A.,1998. Effect of Disolved Oxygen on the Energy Balance and Survival of *Penaeus setiferus* juveniles. Mar. Eco. Prog. Series. (174) : 67-75 pp.

Samocha T.M., Castille F.L., Lawrence A.L. , Talley S.E. 1993. Early Spring Growth Trial of *Penaeus vannamei* Post Larvae at high stocking densities in raceways. Techniques for modern Aquaculture. American Society of Agriculture Engineering. 230-240 pp.

Summerfelt T.S. Vinvi B.J., Piedrahita R.H. 2000. Oxigenation and carbon dioxide in water reuse systems. Aquaculture Eng. 22(1-2): 87-108 pp.

Taboada G., Gaxiola G., Garcia T., P. R., Sánchez A.,Soto L.A., Rosas C.,1998. Oxygen consumption and ammonia-N excretion related to protein requirements for growth

of white shrimp , *Penaeus setiferus* (L.), juveniles. Aquaculture Research. 29: 823-833 pp.

Timmons M. B., Summerfelt S. T., Vinci B. J. 1998. Review of circular tank technology and management. Aquaculture Eng. 18(1): 51-59 pp.

Treece G.D., J.M. Fox. 1993. Design, Operation and Training Manual for an Intensive Culture Shrimp Hatchery, with Emphasis on *P. Monodon* and *P. Vannamei*. Texas A&M Univ. Sea Grant College Program, Bryan, Texas, Pub. 93-505. 187 p.

Treece G.D.2000. Shrimp Culture. En: Stickney, R. R. (ed). Encyclopedia of acuaculture. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 798-868 pp.

Van Wyk, P. 2001. Biology and hatchery production of *Litopenaeus vannamei*. En: ACTED (ed.). Intensive shrimp culture. Harbor Branch Oceanographic Institution Inc. Florida. 6-29 pp.

Weidner D., Revord T., Wells R., Manuar A. 1992. World Shrimp Culture. National Marine Fisheries Service. NOAA. Silver Spring Maryland Vol. 2:Latin America.

Wyban J.A, Sweeney J.N. 1987. Intensive Culture of *Penaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society 18(1): 6A (Abstract 5).

Wyban J.A. , Sweeney J.N. 1988. Shrimp Yields and Economic Potential of Intensive Round Pond Systems. Journal. of the World Aquaculture Society 19(4) 210-217 pp.

Wyban J.A. , Sweeney J.N. 1989. Intensive Shrimp Grow out . Trial in Round Pond. Aquaculture 76: 215

Wyban J.A., Swingle J.S., Sweeney J.N., Pruder G.D. 1993. Specific Pathogen Free *Penaeus vannamei*. World Aquaculture, 24(1): 39-46.

Wyban J., W. A. Walsh D. M. Godin. 1995. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture. 138: 267-279 pp.

Zar J. H. 1999. Biostatiscal analysis. Prentice Hall. USA. 25-200 pp.