

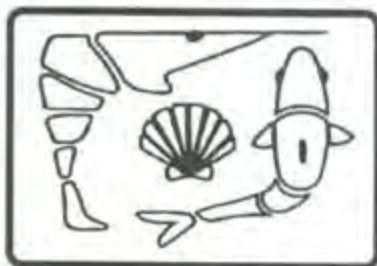


30/T935

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA.

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE POSGRADO EN ACUACULTURA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ACUACULTURA



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL NIVEL PROTEICO EN
 LA DIETA DE *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931)
 CULTIVADO EN SALINIDADES EXTREMAS.**

T E S I S

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

FERNANDO JAIMES BUSTAMANTE

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	iv
I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
I.1. Cultivo de Camarón en Baja Salinidad	1
I.2. Cultivo de Camarón en Alta Salinidad	3
I.3. Inclusión de Proteína en la Dieta	4
II. OBJETIVOS	7
II.1.-Objetivo General	7
II.2.-Objetivos Particulares	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	8
III.1. Obtención y Transporte de los Organismos	8
III.2. Recepción y Aclimatación de Larvas	8
III.3. Aclimatación a las Distintas Salinidades	9
III.4. Sistema de Cultivo y Tratamientos Experimentales	9
III.5. Evaluación del Desempeño Biológico	10
III.6. Evaluación del Porcentaje de Proteína y Humedad Corporal	10
III.7. Monitoreo de Variables Físicoquímicas y Desechos Nitrogenados	12
III.8. Análisis Estadístico	12
IV. RESULTADOS	13
IV.1. Desempeño biológico de los organismos	13
IV.2. Evaluación del Porcentaje de proteína y humedad corporal	13
IV.3. Variables Físicoquímicas y Desechos Nitrogenados	15

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



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

V. DISCUSION	18
VI. CONCLUSIONES	26
VII. RECOMENDACIONES	27
VIII. LITERATURA CITADA	28

INDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
Tabla I.	Composición (% del peso seco) de las dietas experimentales de <i>L. vannamei</i> cultivado en tres salinidades.	11
Tabla II.	Peso inicial, peso final, ganancia en peso y supervivencia (media \pm D.E.) de juveniles de <i>L. vannamei</i> sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.	14
Tabla III.	Análisis de porcentaje de proteína y humedad corporal de juveniles de <i>L. vannamei</i> sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.	16
Tabla IV.	Datos de la calidad de agua (promedio \pm Desv. Est.) del sistema de cultivo experimental de juveniles de <i>L. vannamei</i> sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.	19

ABSTRACT

Shrimp culture in hypo- and hyper-saline environments is practiced in many areas of the world. It is presumed that, under these conditions, shrimp's needs for some specific nutrients, such as protein, may differ from the requirements known in the marine habitat; however, few studies have been conducted in this area of study. In the present investigation, the effects of salinity and dietary protein level on the biological performance, tissue protein and water content of *Litopenaeus vannamei* were evaluated. In a 3 x 4 factorial experiment, juvenile shrimp with an average initial weight of 0.36 ± 0.02 g were exposed for 32 days to salinities of 2, 35, and 50 ppt and fed experimental diets with crude protein contents of 25, 30, 35, and 40%. A significant effect of salinity on growth of shrimp was detected, with the growth responses (final weight, weight gain) ranked in the order 2 ppt (3.87 g, 3.50 g) > 35 ppt (3.40 g, 3.04 g) > 50 ppt (2.84 g, 2.47 g). No effects of dietary protein level or an interaction between salinity and protein on growth of shrimp were observed under the experimental conditions of this study. Percent survival of shrimp fed the highest protein content (40%, survival of 74%) was, however; significantly lower than those of shrimp fed the other feeds (25, 30 and 35% protein, survival of 99, 91, and 94%, respectively), a result likely associated with the concentration of total ammonia nitrogen, which increased significantly at increasing protein levels. Final water content of whole shrimp was significantly lower in animals exposed to 50 ppt (70.8%) than in shrimp held at 2 (73.7%) and 35 ppt (72.3%). No effect of salinity, protein or their interaction were observed on the protein content of whole shrimp. Significant effects of salinity, protein and their interaction were observed on the concentrations of nitrite and nitrate. Higher levels of these compounds coincided with higher dietary protein content only in seawater. The results of the present study are in agreement with reports of superior and inferior growth of *L. vannamei* reared in hypo- and hyper-saline environments, respectively, as compared to what is generally observed in seawater.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La camaronicultura en México y en el mundo se ha incrementado de manera acelerada en las últimas décadas debido a las grandes utilidades y divisas que dicha actividad genera.

Particularmente el cultivo de camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, a nivel intensivo y semiintensivo en Latinoamérica es sumamente importante (Rosenberry, 1993; FAO, 1994), pues esta actividad representa una gran entrada de divisas a países que se encuentran en vías de desarrollo, ayudando a mejorar su economía.

En el año de 1998 se reportó una producción total de 737 mil toneladas de camarón de cultivo a nivel mundial, con un valor calculado de 6 billones de dólares norteamericanos (Rosenberry, 1998). En la actualidad, la producción mundial de camarón de cultivo se estima en 2 millones de toneladas (Rosenberry, 2004). En 1985 se produjeron en nuestro país 200 toneladas de camarón en estanques de cultivo y en el año de 1997 dicha producción alcanzó 1,500 toneladas (Páez Osuna *et al.*, 1999), mientras que en 2004 se alcanzó una cifra récord para México de 61 mil toneladas (SAGARPA, 2004).

Uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes para el cultivo del camarón es la salinidad, pues una variación de la misma influye significativamente en su fisiología, y tiene una repercusión en su eficiencia metabólica (Pequeux, 1995), afectando su crecimiento y supervivencia. En este sentido, Brito *et al.* (2000) estudiaron el efecto de la salinidad sobre el crecimiento, la supervivencia y la capacidad osmótica de juveniles de *Farfantepenaeus brasiliensis*, obteniendo el mayor crecimiento a una salinidad de 35‰ y disminuyendo en salinidades menores (25‰, 15‰), pero sin observar un efecto sobre la supervivencia.

I.1. Cultivo de Camarón en Baja Salinidad

El camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, puede habitar en aguas que presenten salinidades desde 1 hasta 40‰ (Bray *et al.*, 1994), con un intervalo óptimo de 15 a 25‰ (Boyd, 1989). Es la especie más comúnmente cultivada en el hemisferio occidental y su producción se ha incrementado en regiones continentales, donde el agua con que se

cuenta posee salinidades de 0.5‰ (Samocha *et al.*, 2001) a 28.3‰ (Smith y Lawrence, 1990).

Actualmente existen cultivos de *L. vannamei* y *L. stylirostris* a nivel mundial en áreas continentales donde se utilizan aguas de baja salinidad extraídas de pozos artesanos, lo que permite aprovechar tierras inutilizadas por infiltración de aguas salinas o bien tierras que no son aptas para la agricultura.

En el hemisferio oriental existen reportes de la práctica de este tipo de cultivo desde hace 19 años, cuando apareció en Tailandia la primer granja a pequeña escala donde se cultivaba *Penaeus monodon*, descubriéndose que esta especie podía ser cultivada exitosamente bajo condiciones hipohalinas. Una vez establecidas la factibilidad técnica y viabilidad económica de dicho cultivo, éste se expandió rápidamente, reportándose producciones de 4-5 toneladas por hectárea con dos ciclos de cultivo por año (Flaherty *et al.*, 2000).

Una de las ventajas clave de este tipo de cultivo es que se encuentran apartados del océano, lo cual disminuye el riesgo de incidencia de enfermedades virales que ocasionan pérdidas significativas, y en algunos casos pérdidas totales en la producción de las granjas (Samocha *et al.*, 2000). Por otro lado, en caso de presentarse problemas de enfermedades en cultivos de este tipo (a bajas salinidades y relativamente alejados de sistemas lagunares o la misma línea de costa), no se corre riesgo de contaminación de cuerpos de agua con agentes patógenos al realizar recambios de agua o al vaciar los estanques de cultivo, lo cual se traduce como una mayor bioseguridad.

La producción de *L. vannamei* y otras especies de peneidos en aguas con bajas salinidades se realiza actualmente de manera experimental y comercial en Brasil, Ecuador, Estados Unidos, México y Tailandia. Estudios recientes muestran que el 30% de la producción total de este crustáceo cultivado en Tailandia proviene del cultivo en agua de baja salinidad (Saoud *et al.*, 2003). En los Estados Unidos se efectúa este tipo de cultivos en los estados de Arizona, Florida, Indiana, Illinois y Texas (Samocha *et al.*, 2002; Saoud *et al.*, 2003), además de Alabama, Carolina del Sur, Michigan y Misisipi (Davis *et al.*, 2004).

Se han observado supervivencias de 86.7% en el cultivo de camarón blanco del Pacífico en aguas de 2‰ en un ciclo de 120 días y a una densidad de 25 organismos por

metro cuadrado, además de producciones de alrededor de 12 toneladas por hectárea y densidades de 109 organismos por metro cuadrado, como en el caso de una granja ubicada en el estado de Arizona, EUA (Davis *et al.* 2004).

En un trabajo realizado con *F. paulensis* para evaluar el efecto de distintas salinidades sobre el crecimiento y otros parámetros de producción, se encontró que esta especie tuvo el mayor crecimiento a 25‰, seguido de 15 y 5‰. El menor incremento en peso ocurrió en 34‰, concluyendo que, para fines de acuicultura, se recomienda cultivar a dichos organismos a una salinidad entre 15 y 25‰ (Lemos *et al.*, 2001).

En nuestro país este tipo de cultivo se inició en el estado de Colima, donde actualmente operan alrededor de 12 granjas, las cuales poseen un suministro de agua a partir del riego agrícola. En estas instalaciones se opera con un sistema de cultivo semiintensivo alcanzando producciones de 2 toneladas por Ha por ciclo con tallas que oscilan entre los 14 y 20 g (Panorama Acuícola, 2002).

A pesar de las ventajas que ofrece este tipo de cultivo, los acuicultores se han enfrentado a problemas inherentes a la disminución de la salinidad del agua de cultivo, pues el disminuir o aumentar la salinidad del agua, en combinación con el efecto de la temperatura, resulta en un significativo aumento del índice de consumo de oxígeno ($P > 0.05$) por parte de los organismos (Spanopoulos-Hernández *et al.* (2005).

I.2. Cultivo de Camarón en Alta Salinidad

Tomando en cuenta que la salinidad del agua marina oscila entre 34-36‰, el cultivo de camarón en baja salinidad nos revela una sorprendente capacidad de osmoregulación de estos organismos. De hecho, esta capacidad es aún más sorprendente si se considera que en regiones de cultivo con altas tasas de evaporación del agua de los estanques, como en la Costa de Hermosillo en el Desierto de Sonora, no es poco común que la salinidad se eleve progresivamente hasta alcanzar valores de 50‰ o más altos, especialmente hacia el final del ciclo de cultivo (Perez-Velazquez *et al.*, 2006).

En México la mayor zona para el cultivo del camarón blanco se encuentra en el noroeste, con un 70% de los terrenos disponibles de nuestro país susceptibles para esta actividad, lo cual representa unas 335 mil hectáreas (De la Lanza-Espino *et al.*, 1993). En la

mayor parte de esta región, la temperatura se incrementa de manera importante y se presentan sequías en el verano, por lo cual el cultivo de camarón bajo condiciones hiperhalinas puede ocurrir a menudo.

En este sentido Soyel y Kumlu (2003) investigaron los efectos de la salinidad sobre el crecimiento y la supervivencia de *P. semisulcatus* encontrando que dicha especie presentó una mayor supervivencia y mejor crecimiento a altas (30.35 y 40‰) que a bajas salinidades (10, 15, 20 y 25‰), siendo 40‰ la salinidad óptima para su cultivo a una temperatura de 28°C. Más aún, Harpaz y Karlplus (1991) observaron que dicha especie alcanzó supervivencias del 100% en salinidades de 60 ppm. Por su parte Ponce-Palafox *et al.* (1997) en estudios referentes al efecto de la salinidad sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de *L. vannamei* obtuvieron el mejor crecimiento en salinidades mayores a 30‰ con un crecimiento óptimo entre las 33 y 40‰ a una temperatura de 28-30°C.

I.3. Inclusión de Proteína en la Dieta

En la industria del cultivo de camarón la competencia se torna paulatinamente más ardua y el margen de ganancias se ha reducido con el paso de los años debido al aumento de granjas acuícolas, por lo tanto dicha actividad se ve obligada a volver más eficiente su proceso productivo, dedicándole especial atención a la formulación de alimentos destinados a la alimentación de los organismos en cultivo.

En la camaronicultura uno de los principales costos de producción es el alimento balanceado destinado a la alimentación de los organismos, siendo la proteína el componente más costoso para la elaboración de los mismos, además de ser el nutriente más limitante para el crecimiento (Kureshy y Davis, 2002), lo cual pone de manifiesto la importancia del estudio de los requerimientos nutricionales de proteína de las especies sometidas al cultivo.

Villalón (1991) reportó que postlarvas de *L. vannamei* fueron alimentadas de manera regular con niveles proteicos de hasta 35%, haciendo hincapié en que los organismos se localizaban en estanques de precría en los cuales existe disponibilidad de alimento natural. Existen reportes de niveles de inclusión de proteína en la dieta de 40 a

45% en alimento destinado para postlarvas de la misma especie, pero en sistemas intensivos de cultivo larvario (Strumer *et al.*, 1992; Samocha *et al.*, 1993; Treece y Fox, 1993).

Velasco *et al.* (1998) no encontraron diferencias significativas en el crecimiento de postlarvas de *L. vannamei* alimentadas con 25% y 33% de inclusión de proteína en la dieta. En el año 2000 Velasco y colaboradores reportan los resultados de sus estudios basados en la relación entre la supervivencia y el crecimiento con diferentes porcentajes de inclusión proteica en la dieta ofrecida a postlarvas de *L. vannamei*. Ellos descubrieron que el nivel de proteína por arriba del 11% de inclusión no afectó significativamente la supervivencia de los organismos, además de que el crecimiento tampoco fue afectado por los niveles de inclusión.

McIntosh *et al.* (2001) evaluaron parámetros de producción en juveniles (1.69 g) de *L. vannamei* alimentados con dos distintos porcentajes de inclusión de proteína (21 y 31%); la mayor supervivencia se encontró con 31% de inclusión (96.2%) mientras que para el 21% se presentó la menor (90.6%), el peso promedio final de los organismos fue mas alto en los organismos alimentados con el mayor porcentaje de proteína (31%) y el factor de conversión de alimento más alto se presentó en el porcentaje menor de inclusión (21%) con 2.15 contra 1.75 de la dieta con mayor porcentaje de inclusión.

El estudio de los requerimientos nutricionales de proteína de *L. vannamei* ha sido abordado por diversos otros autores. Sin embargo, existe una gran variación del nivel dietético de proteína reportado como óptimo, el cual oscila desde 15 % hasta más de 40% (Colvin and Brand, 1977; Smith et al., 1985; Cousin et al., 1991; Aranyakananda and Lawrence, 1993; Teichert-Coddington and Rodriguez, 1995), lo que probablemente obedece a diferencias en las condiciones experimentales de los diversos estudios. Se presume que, bajo condiciones de cultivo en baja o alta salinidad, los requerimientos de proteína y otros nutrientes cambian (Gong et al., 2004b), pudiendo compensarse dichos cambios mediante manipulaciones de la dieta. A este respecto, una considerable cantidad de estudios están siendo enfocados en la actualidad a la elucidación de los requerimientos nutricionales de camarón bajo condiciones de cultivo en agua de baja salinidad. Ésto se ha puesto de manifiesto en recientes foros científicos de discusión tales como simposios y conferencias, donde sesiones enteras han sido dedicadas a este tema (Cuzon et al, 2004; Fox and Siccardi, 2004; Perez-Velazquez and González-Félix, 2004; Gong et al, 2004b;

Davis, 2004). No obstante, el estudio de dichos requerimientos bajo condiciones de cultivo hiperhalinas es, como también se ha visto, de gran interés.

Actualmente se desconocen los requerimientos nutricionales de proteína de *L. vannamei* bajo condiciones de cultivo extremas, es decir, a bajas y altas salinidades. Por lo tanto es importante determinar los mismos para así optimizar su porcentaje de inclusión en las dietas destinadas a la alimentación de esta especie cultivada bajo tales condiciones.

II. OBJETIVOS

II.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del nivel proteico en la dieta de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivado en salinidades extremas.

II.2. Objetivos Particulares

Elaborar dietas experimentales con niveles de inclusión de proteína de 25, 30, 35 y 40%.

Evaluar su efecto sobre el crecimiento, supervivencia, porcentaje de proteína y de humedad corporal de *L. vannamei* cultivado en salinidades de 2, 35 y 50‰.

Evaluar su efecto sobre las variables fisicoquímicas y desechos nitrogenados del agua de cultivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento de 32 días de duración en el Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas de la Unidad Experimental Kino (UEK), Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Bahía Kino, Sonora, con el fin de evaluar del nivel proteico en la dieta de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivado en salinidades extremas.

III.1. Obtención y Transporte de los Organismos

Aproximadamente 6,000 postlarvas (PL14) de *L. vannamei* fueron trasladadas mediante transporte terrestre a la UEK, provenientes del laboratorio comercial de producción de postlarvas Maricultura del Pacífico S.A. de C. V., el cual se encuentra localizado en la misma entidad. Para su transporte, las postlarvas fueron colocadas en bolsas de plástico que contenían agua de mar y les fue inyectado oxígeno; dichas bolsas se colocaron en cajas de poliestireno. No fue necesario reducir el metabolismo de los organismos (para minimizar el estrés), mediante la reducción de la temperatura debido a la cercanía del lugar de procedencia y el destino final de los mismos. El transporte de los organismos a la UEK se efectuó en aproximadamente 15 minutos, tiempo tras el cual se procedió a su aclimatación.

III.2. Recepción y Aclimatación de Larvas

Al arribar a la UEK, las bolsas con los organismos fueron puestas en un tanque de fibra de vidrio con capacidad de 10m³ que contenía agua de mar filtrada. Para llevar a cabo la aclimatación se colocaron las bolsas dentro del tanque de recepción. Una vez transcurridos 15 minutos se agregó un litro del agua del tanque a la bolsa. Sucesivamente y a intervalos de 10 minutos, la cantidad agregada se fue duplicando hasta que ésta rebozó las bolsas y fueron liberados los organismos.

Los organismos se mantuvieron en el tanque durante un período de 4 semanas. Los parámetros fisicoquímicos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron monitoreadas diariamente durante este lapso de tiempo, alimentándose los organismos con

alimento peletizado triturado (Camaronina, Agribbrands Purina®, Ciudad Obregon, Sonora, Mexico) con un contenido proteico de 40%, a una tasa del 10% de la biomasa, cantidad que fue distribuida en dos porciones diarias. Durante las noches se suministró aireación al agua del tanque mediante un tubo de PVC perforado y conectado a un soplador, esto con el fin de evitar niveles bajos de la concentración de oxígeno disuelto. Trascurridas las 4 semanas, se realizó la aclimatación de los organismos a las distintas salinidades experimentales.

III.3. Aclimatación a las Distintas Salinidades

La cantidad total de organismos fue dividida en tres partes iguales, las cuales fueron transferidas a tres tanques circulares de plástico con una capacidad de 250 litros cada uno. Utilizando una tasa de aclimatación de 1‰/h, los organismos en un tanque fueron aclimatados a 2‰ mediante la adición de agua desionizada, lo cual se consiguió en un periodo de 34 h. Mientras tanto, utilizando la misma tasa de aclimatación, en otro tanque los organismos se aclimataron a 50‰ al adicionar salmuera compuesta de sal marina sintética (Coral Life® Salt, Carson, California, EUA) disuelta en agua desionizada, proceso que duró 15 h. En el tercer tanque los organismos se mantuvieron en agua de mar (35‰). Los organismos fueron subsecuentemente transferidos a los sistemas de cultivo experimental para dar inicio al experimento, teniendo una talla individual promedio de 0.36 ± 0.02 g.

III.4. Sistema de Cultivo y Tratamientos Experimentales

Se utilizó un par de sistemas de cultivo experimental idénticos, cada uno compuesto de 50 tanques circulares de polietileno de 30 cm de diámetro, con capacidad de 19.7 l y área superficial de 0.07m^2 . Cada tanque fue llenado con 17.3 l de agua y provisto de aireación. Se mantuvo agua limpia durante todo el experimento mediante la aplicación de altas tasas de recambio diario de agua, que variaron de 10% durante la primera semana, hasta 80 % al final. La temperatura se controló con dos calentadores ambientales de aceite (110 Voltios, 1,500 Watts, Home Essentials, Modelo HO 301, Troy, Minesota, EUA) y un

calentador oscilatorio de aspas (110 Voltios, 1,500 Watts, EWT Glen Dimplex, Sonnenberg, Alemania).

Utilizando un modelo factorial 3 x 4, los organismos se sometieron a salinidades de 2, 35 y 50‰, las cuales fueron obtenidas mediante la dilución de sal marina sintética (Coral Life® Salt, Carson, California, EUA) en agua desionizada, en tanto que se les suministraron alimentos con contenidos de proteína de 25, 30, 35 y 40%. cuyas formulaciones se presentan en la Tabla I. Cada tratamiento experimental fue asignado aleatoriamente a al menos ocho unidades experimentales, en las cuales se sembraron los organismos a una tasa de 56 individuos/m². La tasa de alimentación se ajustó para proveer un exceso moderado de alimento. El alimento no consumido, al igual que las excretas y exuvias, se retiraron de los tanques cada mañana mediante sifoneo.

III.5. Evaluación del Desempeño Biológico

Al final del período experimental se evaluó el crecimiento (peso final y peso ganado) y supervivencia de los organismos. El peso ganado se calculó a partir de la diferencia entre el peso final y el peso inicial. La supervivencia fue determinada mediante la diferencia entre el número de organismos sembrados y el número de organismos cosechados, para lo cual se vigiló diariamente la mortalidad con el fin de evitar el canibalismo y posibles errores en el cálculo.

III.6. Evaluación del Porcentaje de Proteína y Humedad Corporal

El porcentaje de proteína y humedad corporal al inicio y fin del experimento, así como de las dietas experimentales, fueron determinados via combustión mediante el método Dumas (Ebling, 1968) con un analizador de nitrógeno/proteína Leco FP-528 (Leco Corporation, St.Loseph, Michigan, EUA), calculando la proteína cruda mediante $N \times 6.25$. Se analizaron tres muestras por tratamiento, en donde cada muestra consistió de cuatro individuos (enteros), cada uno tomado de un tanque distinto. Las muestras se secaron en horno a 60°C

Tabla I. Composición (% del peso seco) de las dietas experimentales de *L. vannamei* cultivado en tres salinidades.

Ingrediente	Nivel de proteína (%)			
	25	30	35	40
Harina de pescado ^a	15.625	18.750	21.875	25.000
Harina de soya ^b	24.800	30.600	36.500	42.400
Almidón ^d	31.655	22.840	13.925	4.910
Harina de trigo ^d	20.000	20.000	20.000	20.000
Aceite de pescado ^c	2.150	2.740	3.330	3.920
Premezcla de vitaminas ^f	2.000	2.000	2.000	2.000
Fosfato de calcio ^d	2.500	1.800	1.100	0.500
Premezcla de minerales traza ^e	0.500	0.500	0.500	0.500
Lecitina de soya ^h	0.500	0.500	0.500	0.500
Colesterol ^d	0.200	0.200	0.200	0.200
Vitamina C ^g	0.070	0.070	0.070	0.070
Total	100	100	100	100
Contenido de Proteína ^l	27.6 ± 0.2	32.4 ± 0.1	37.0 ± 0.2	42.1 ± 0.1

^lValores determinados en el laboratorio. Promedio ± desviación estándar de muestras por triplicado.

^aOmega Protein Inc., Hammond, Louisiana, EUA.

^bSouthern Sates Cooperative Inc., Richmond Virginia, EUA.

^cOmega Protein Inc., Reedville, Virginia, EUA.

^dUnited States Biochemical Corporation, Cleveland, Ohio, EUA.

^eg/100 g de premezcla: cloruro de cobalto 0.004, sulfato cúprico pentahidratado 0.250, sulfato ferroso 4.0, sulfato de magnesio heptahidratado 28.398, sulfato manganoso monohidratado 0.650, yoduro de potasio 0.067, selenito de sodio 0.010, sulfato de zinc heptahidratado 13.193, relleno 53.428.

^fg/kg de premezcla: tiamina HCl 0.5, riboflavina 3.0, piridoxina HCl 1.0, DL Ca-Pantothenate 5.0, ácido nicotínico 5.0, biotina 0.05, ácido fólico 0.18, vitamina B12 0.002, inositol 5.0, menadiona 2.0, vitamina A acetato (20,000 IU/g) 5.0, vitamina D3 (400,000 IU/g) 0.002, dl-alpha-tocoferol acetato (250 IU/g) 8.0, Alpha-celulosa 865.266.

^g250 mg/kg actividad C Stay C[®], (L-ascorbil-2-polyfosfato 25% Activa C), Roche Vitamins Inc., Parsippany, New Jersey, EUA.

^hAqualipid 95, Central Soya Chemurgy Division, Fort Wayne, Indiana, EUA.

durante 24 h, midiendo su porcentaje de humedad para posteriormente ser pulverizadas en un mortero y subsecuentemente sometidas a la determinación de nitrógeno/proteína.

III.7. Monitoreo de Variables Fisicoquímicas y Desechos Nitrogenados

Diariamente se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, y oxígeno disuelto con la ayuda de un oxímetro (YSI, modelo 85, Yellow Spring, Ohio, EUA). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos en el agua de cultivo se determinaron semanalmente de acuerdo a adaptaciones de los métodos descritos por Solarzano (1969) y Spotte. (1979).

III.8. Análisis Estadístico

Considerando a los sistemas de cultivo como un factor de bloqueo, se analizaron el peso inicial, peso final, peso ganado, supervivencia (transformada mediante arcoseno, se presentan datos no transformados), porcentaje de proteína y humedad corporal, así como las variables fisicoquímicas y desechos nitrogenados mediante Análisis de Varianza (ANDEVA) de tres vías con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. En la ausencia de un efecto significativo del sistema de cultivo sobre las variables dependientes, se utilizó ANDEVA de dos ($P \leq 0.05$). En la ausencia de interacciones significativas entre los factores salinidad y proteína, se realizó ANDEVA de una vía para cada factor. Se utilizó el método de separación de promedios de Tukey (HSD) para identificar diferencias entre tratamientos. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa "Statistical Analysis System software" (SAS Institute, 1999-2000, Software Release 8.1, Cary, Carolina del Norte, EUA).

IV. RESULTADOS

IV.1. Desempeño Biológico de los Organismos

No se observó un efecto significativo del sistema de cultivo ni interacciones significativas entre éste y la salinidad o el nivel de proteína sobre el peso final, peso ganado o supervivencia de los organismos. Sin embargo, se detectaron efectos significativos de la salinidad sobre el crecimiento y del porcentaje de proteína sobre la supervivencia. Los organismos mantenidos a una salinidad de 2‰ tuvieron un peso final y peso ganado significativamente mayores que los de aquellos mantenidos a 35 o 50‰). Se detectaron diferencias significativas adicionales entre el peso final y el peso ganado de los organismos cultivados a 35 y 50‰, siendo mayores para el primer tratamiento. Por su parte, los camarones alimentados con la dieta de contenido proteico de 40% tuvieron una supervivencia significativamente menor que la de los organismos de los demás tratamientos (Tabla II).

IV.2. Evaluación del Porcentaje de Proteína y Humedad Corporal

Se determinaron los siguientes porcentajes de proteína en las dietas experimentales: 27.6 ± 0.2 , 32.4 ± 0.1 , 37.0 ± 0.2 , y $42.1 \pm 0.1\%$ (Tabla I). El promedio del porcentaje de proteína corporal de los organismos al inicio del bioensayo fue de $69.7 \pm 0.7\%$. Al final del experimento, no se detectaron efectos significativos del sistema de cultivo, de la salinidad, del nivel de proteína ni de su interacción sobre el porcentaje de proteína corporal (Tabla III).

El porcentaje de humedad corporal fue significativamente mayor para los organismos cultivados a 2 y a 35‰ en comparación con aquellos mantenidos a 50‰, sin existir diferencias significativas entre los dos primeros tratamientos (Tabla III). Ni el sistema de cultivo, ni el nivel de proteína o la interacción entre ambos factores afectaron significativamente el porcentaje de humedad de los organismos (Tabla III).

Tabla II. Peso inicial, peso final, ganancia en peso y supervivencia (media \pm D.E.) de juveniles de *L. vannamei* sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.

Tratamiento Salinidad (%)/Proteína (%)	Peso inicial (g)	Peso final weight (g)	Peso ganado (g)	Supervivencia (%)
2/25	0.35 \pm 0.02	3.80 \pm 0.28	3.44 \pm 0.27	100.0 \pm 0.0
2/30	0.35 \pm 0.02	3.94 \pm 0.27	3.58 \pm 0.27	94.4 \pm 11.0
2/35	0.36 \pm 0.02	3.75 \pm 0.46	3.39 \pm 0.45	97.2 \pm 8.3
2/40	0.36 \pm 0.02	3.98 \pm 0.33	3.62 \pm 0.34	80.5 \pm 32.5
35/25	0.36 \pm 0.01	3.21 \pm 0.27	2.85 \pm 0.26	96.8 \pm 8.8
35/30	0.35 \pm 0.02	3.61 \pm 0.33	3.26 \pm 0.32	81.2 \pm 34.7
35/35	0.36 \pm 0.01	3.49 \pm 0.36	3.12 \pm 0.36	87.5 \pm 18.8
35/40	0.35 \pm 0.01	3.30 \pm 0.25	2.94 \pm 0.27	84.3 \pm 35.1
50/25	0.35 \pm 0.01	2.88 \pm 0.39	2.53 \pm 0.38	100.0 \pm 0.0
50/30	0.36 \pm 0.01	2.80 \pm 0.48	2.44 \pm 0.47	96.8 \pm 8.8
50/35	0.37 \pm 0.01	2.91 \pm 0.58	2.54 \pm 0.58	96.8 \pm 8.8
50/40	0.36 \pm 0.01	2.72 \pm 0.50	2.35 \pm 0.49	56.2 \pm 47.7
Salinidad (Efectos principales)				
2	0.36 \pm 0.02	3.87 \pm 0.34 ^a	3.50 \pm 0.34 ^a	93.0 \pm 18.5
35	0.36 \pm 0.02	3.40 \pm 0.33 ^b	3.04 \pm 0.33 ^b	87.5 \pm 26.1
50	0.36 \pm 0.01	2.84 \pm 0.47 ^c	2.47 \pm 0.46 ^c	87.5 \pm 29.7

Proteína (Efectos principales)				
25	0.35 ± 0.02	3.32 ± 0.49	2.96 ± 0.49	99.0 ± 5.0 ^a
30	0.35 ± 0.02	3.46 ± 0.61	3.10 ± 0.61	91.0 ± 21.5 ^a
35	0.36 ± 0.01	3.40 ± 0.58	3.03 ± 0.58	94.0 ± 13.0 ^a
40	0.36 ± 0.02	3.42 ± 0.61	3.06 ± 0.62	74.0 ± 39.1 ^b
ANOVA <i>Pr</i> > F				
Sistema de cultivo	0.7546	0.2019	0.2128	0.8550
Salinidad	0.7280	< 0.0001	< 0.0001	0.6157
Proteína	0.3631	0.3735	0.3748	0.0016
Salinidad x Proteína	0.8029	0.2606	0.2386	0.2201

Los promedios de peso final, ganancia en peso y supervivencia de los efectos principales con superíndices similares en una misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

IV.3. Variables Físicoquímicas y Desechos Nitrogenados

No se observó un efecto del sistema de cultivo (utilizado como factor de bloqueo) sobre ninguno de las variables físicoquímicas y desechos nitrogenados (Tabla IV). Las salinidades promedio (\pm desviación estándar, rango) globales fueron 2.1‰ (\pm 0.0, 1.50-2.60), 35.2 ‰ (\pm 0.1, 34.1-35.5), y 50.2 ‰ (\pm 0.2, 47.8-51.0). La temperatura del agua no varió de manera significativa entre los tratamientos, mientras que se observaron concentraciones de oxígeno disuelto significativamente mayores a salinidades menores, en el siguiente orden 2‰ > 35‰ > 50‰ (Tabla IV). El nivel de inclusión de proteína en la dieta tuvo un efecto significativo sobre las concentraciones de nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos, mostrando concentraciones significativamente mayores de los tres compuestos a

Tabla III. Análisis de porcentaje de proteína y humedad corporal de juveniles de *L. vannamei* sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.

Tratamiento Salinidad (%)/Proteína (%)	Porcentaje de proteína corporal (% del peso seco)¹	Porcentaje de humedad corporal (%)¹
Inicio	69.7 ± 0.7	72.6 ± 0.4
Salinidad (%) (Efectos principales)		
2	74.9 ± 0.8	73.7 ± 0.9 ^a
35	74.8 ± 0.4	72.3 ± 1.9 ^a
50	74.5 ± 0.7	70.8 ± 1.8 ^b
Proteína (%) (Efectos principales)		
25	74.8 ± 0.9	71.7 ± 2.9
30	74.9 ± 0.7	72.1 ± 0.9
35	74.8 ± 0.6	72.4 ± 1.2
40	74.4 ± 0.6	72.8 ± 2.3
ANOVA <i>Pr</i> > F		
Sistema de cultivo	0.3697	0.2954
Salinidad	0.4306	0.0014
Proteína	0.4289	0.5806
Salinidad x Proteína	0.3089	0.3278

¹Los valores son promedio ± desviación estándar de muestras por triplicado para cada tratamiento.

Los promedios de porcentaje de humedad de los efectos principales con superíndices similares en una misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

medida que el nivel de proteína fue mayor (Tabla IV). En cuanto a las concentraciones de nitritos y nitratos, también se detectó un efecto significativo de la salinidad, con niveles de ambos compuestos estadísticamente mayores en agua marina, en comparación con agua de 2 y 50%. Aunado a esto, se observó una interacción significativa entre la salinidad y el nivel de proteína sobre los niveles de nitritos y nitratos, en la cual las más altas concentraciones de nitritos (0.4-0.6mg/l) y nitratos (1.2-1.6mg/l) coincidieron con niveles de proteína altos (35% y 40%) únicamente en agua marina.

V. DISCUSIÓN

El someter a los organismos ya sea a muy baja (2‰) o alta (50‰) salinidad afectó su crecimiento significativamente. Los camarones mantenidos a una salinidad de 50‰ tuvieron un peso final y un peso ganado estadísticamente menor que el de los camarones cultivados en agua de mar (35‰). Un crecimiento pobre ha sido reportado anteriormente para esta misma especie en cultivo a alta salinidad (Bray et al., 1994), así como para otros peneidos como *P. latisulcatus* (Sang and Fotedar, 2004) y *F. californiensis* (Villareal et al., 2003). La alta salinidad indudablemente altera el proceso de osmoregulación en los camarones, tal como lo sugiere la observación recurrente de que la concentración de los osmolitos en la hemolinfa se incrementa directamente con la salinidad (Spaargaren, 1975, 1976; Subramanian y Krishnamurthy, 1986; Jiang et al., 2000; Rosas et al., 2001). Se ha puntualizado que bajo condiciones hipersalinas, los organismos están obligados a llevar al cabo la osmoregulación a un alto costo metabólico (Spaargaren, 1975, 1976; Subramanian and Krishnamurthy, 1986; Jiang et al., 2000), lo cual inevitablemente disminuye los recursos nutricionales y energéticos destinados al crecimiento. Lo anterior concuerda con lo observado por Villareal et al. (2003), quienes reportan un incremento en el índice metabólico (medido a través del índice de consumo de oxígeno) y una disminución en el crecimiento y en la energía dietética asimilada por *F. californiensis* expuesto a salinidades de 45 y 55‰, en comparación con salinidades de 25 y 35‰. Rosas et al. (2001) también reportaron una disminución en el crecimiento de *L. vannamei* cultivado a altas salinidades (40‰ vs. 16‰). Los autores observaron concentraciones de nitrógeno amoniacal en hemolinfa significativamente mayores (7.2 mg/l) en los camarones mantenidos a altas salinidades y sugirieron a éste factor como la posible causa de la disminución del crecimiento. Se han documentados algunos otros efectos de las alta salinidad sobre el metabolismo y la fisiología de los camarones. Por ejemplo, Jiang et al. (2000) observaron un mayor tasa de excreción de nitrógeno amoniacal de *L. vannamei* mantenido a 40‰ vs. 25‰ en tres temperaturas diferentes (24, 28 y 32°C). De manera interesante, otros camarones peneidos como *Marsupenaeus japonicus* y *P. monodon*, activan o aumentan la

Tabla IV. Datos de la calidad de agua (promedio \pm Desv. Est.) del sistema de cultivo experimental de juveniles de *L. vannamei* sometidos a tres salinidades y alimentados con cuatro niveles de inclusión de proteína.

Tratamiento Salinidad (%)/Proteína (%)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
2/25	5.9 \pm 0.1	30.5 \pm 0.1	1.7 \pm 0.1	0.0 \pm 0.0	0.2 \pm 0.2
2/30	5.9 \pm 0.1	30.5 \pm 0.1	3.3 \pm 1.8	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.2
2/35	5.9 \pm 0.1	30.5 \pm 0.1	4.6 \pm 3.10	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.1
2/40	5.9 \pm 0.1	30.4 \pm 0.4	5.5 \pm 3.7	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.1
35/25	5.1 \pm 0.1	30.5 \pm 0.1	1.5 \pm 1.0	0.1 \pm 0.1	0.3 \pm 0.2
35/30	5.0 \pm 0.1	30.6 \pm 0.1	3.5 \pm 2.2	0.2 \pm 0.1	0.5 \pm 0.3
35/35	5.1 \pm 0.1	30.5 \pm 0.1	3.6 \pm 2.6	0.4 \pm 0.4	1.2 \pm 1.2
35/40	5.0 \pm 0.1	30.5 \pm 0.0	4.8 \pm 3.8	0.6 \pm 0.9	1.6 \pm 2.6
50/25	4.5 \pm 0.1	30.4 \pm 0.1	1.9 \pm 1.9	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.1
50/30	4.5 \pm 0.1	30.6 \pm 0.1	3.1 \pm 1.8	0.0 \pm 0.0	0.2 \pm 0.2
50/35	4.5 \pm 0.1	30.5 \pm 0.0	4.2 \pm 2.7	0.1 \pm 0.1	0.3 \pm 0.3
50/40	4.4 \pm 0.1	30.6 \pm 0.1	5.3 \pm 2.6	0.1 \pm 0.1	0.2 \pm 0.2
Salinidad (%) (Efectos principales)					
2	5.9 \pm 0.1 ^a	30.5 \pm 0.2	3.8 \pm 2.9	0.0 \pm 0.0 ^b	0.1 \pm 0.2 ^b
35	5.0 \pm 0.1 ^b	30.5 \pm 0.1	3.3 \pm 2.9	0.3 \pm 0.5 ^a	0.9 \pm 1.5 ^a

50	4.5 ± 0.1 ^c	30.5 ± 0.1	3.6 ± 2.5 ^c	0.1 ± 0.1 ^b	0.2 ± 0.2 ^b
Proteína (%) (Efectos principales)					
25	5.2 ± 0.6	30.5 ± 0.1	1.7 ± 1.3 ^c	0.0 ± 0.1 ^c	0.2 ± 0.2 ^b
30	5.2 ± 0.6	30.5 ± 0.1	3.3 ± 1.9 ^b	0.1 ± 0.1 ^{bc}	0.3 ± 0.3 ^b
35	5.2 ± 0.6	30.5 ± 0.1	4.1 ± 2.8 ^{ab}	0.2 ± 0.3 ^{ab}	0.5 ± 0.8 ^{ab}
40	5.1 ± 0.7	30.5 ± 0.2	5.2 ± 3.3 ^a	0.2 ± 0.6 ^a	0.6 ± 1.6 ^a
ANOVA <i>Pr</i> > F					
Sistema de cultivo	0.2388	0.4962	0.9302	0.1826	0.2175
Salinidad	< 0.0001	0.5960	0.6902	< 0.0001	< 0.0001
Proteína	0.0859	0.2355	< 0.001	0.0109	0.0261
Salinidad x Proteína	0.2733	0.3712	0.9765	0.0110	0.0087

Los promedios de las concentraciones de oxígeno disuelto, NH₃-N, NO₂-N, y NO₃-N de los efectos principales con superíndices similares en una misma columna no son significativamente diferentes (*p* > 0.05).

formación y excreción de urea y/o ácido úrico, los cuales son compuestos nitrogenados menos tóxicos que el nitrógeno amoniacal (Chen et al., 1994; Chen and Chen, 1996; Lee & Chen, 2003). En su conjunto, la evidencia anterior y los resultados obtenidos en el presente estudio indican la gran importancia de evitar salinidades altas en el cultivo comercial de camarón.

Por otro lado, los camarones mantenidos a una salinidad de 2‰ tuvieron un mayor peso final y peso ganado que los organismos de los otros dos tratamientos, lo cual coincide con reportes de un mejor crecimiento de *L. vannamei* cultivado a baja salinidad. En este sentido, en un experimento de 35 días, Bray et al. (1994) encontraron un crecimiento significativamente mayor de camarones mantenidos a 5 y 15‰ (12.22-12.36g), en

comparación con camarones mantenidos a 25, 35 y 49‰ (8.48-10.95g). En otro ejemplo y a pesar de no haber trabajado con salinidades cercanas al límite menor de tolerancia de esta especie, Rosas et al. (2001) detectaron también un peso final significativamente mayor en individuos mantenidos por un período de 30 días a 15‰ (2.0-2.3g) que en individuos mantenidos a 40‰ (1.5-1.9g). Sin embargo, también existen reportes que contradicen estos resultados. Por ejemplo, en una serie de bioensayos con salinidades de 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, y 30‰, Laramore et al. (2001) registraron una mortalidad total de *L. vannamei* en salinidades por debajo de 2.0‰, además de un crecimiento estadísticamente menor de los camarones sometidos durante 18 a 40 días a salinidades de 2 y 3‰, en comparación con aquellos mantenidos a 30‰. Por su parte Ponce-Palafox et al. (1997) reportaron una interacción significativa entre la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento de individuos de *L. vannamei* mantenidos por un período de 40 días en combinaciones de 20, 30, 35, 40 y 50‰ de salinidad y 20, 25, 30 y 35°C de temperatura. Los camarones presentaron un crecimiento significativamente mayor en salinidades mayores de 20‰ y dentro de un rango de temperatura de 25 a 35°C. Ogle et al. (1992) observaron una supervivencia significativamente menor de juveniles de *L. vannamei* cultivados a 2‰ en comparación con organismos sometidos a 16‰ por un período de 30 días. Adicionalmente, existen estudios en los que no se ha detectado un efecto significativo de la salinidad sobre el crecimiento, tal y como el realizado por Sowers et al. (2005), quienes reportaron recientemente crecimiento similares de organismos cultivados tanto a 2‰ como a 20‰ durante 21 días. De forma similar, en un estudio con una duración de 70 días, Samochoa y colaboradores (1998) no observaron un efecto de salinidades de 2, 4 y 8‰ sobre el crecimiento de esta misma especie, aunque el intervalo de salinidades utilizado probablemente fue muy reducido como para detectar diferencias significativas entre tratamientos. En su conjunto, la información anterior revela la falta de un consenso en cuanto al efecto que la baja salinidad tiene sobre el crecimiento de *L. vannamei*. Sin embargo, el análisis de la relación entre la talla o edad de los organismos utilizados en los diversos y su desempeño en cultivo parece ser un factor clave para explicar, en buena medida, las inconsistencias de los datos. Se ha demostrado experimentalmente que entre más pequeños o jóvenes sean los organismos sometidos a baja salinidad, más pobre será su desempeño, tal y como lo indican los resultados obtenidos por Davis et al. (2002), quienes

observaron pobre crecimiento y supervivencia de postlarvas menores de 15 días de edad mantenidas en agua de mar diluida a una salinidad igual o menor a 4‰. Al utilizar postlarvas de 20 días de edad, observaron un mejor desempeño de éstas incluso a una salinidad de 1‰, pero no sin experimentar altos índices de mortalidad (12 a 17%) después de tan sólo 48 horas de aclimatación. Estas observaciones son consistentes con la información discutida hasta ahora, ya en aquellos ejemplos donde se han observado pobres desempeños de organismos sometidos a baja salinidad, se han utilizado individuos más bien jóvenes. Por ejemplo, Ponce-Palafox et al. (1997) utilizaron postlarvas de 18 días de edad, con un peso inicial de 0.01g. Ogle et al. (1992) emplearon postlarvas de 22 días de edad, en tanto que en la serie de tres experimentos realizados por Laramore et al. (2001), se utilizaron organismos de 30 días de edad (0.1g). Por el contrario, en los ejemplos donde se ha observado un mejor desempeño de *L. vannamei* cultivado en baja salinidad, se han utilizado camarones juveniles y no postlarvas. Tales son los casos de los estudios de Bray et al. (1994) y de Rosas et al. (2001), quienes utilizaron organismos de 1.63-2.17 g de peso inicial, en el primer caso, y de 0.36 g en el segundo. En el presente estudio, el peso inicial de los organismos (0.36 g) coincide exactamente con el de aquellos utilizados por Rosas et al. (2001). En otro ejemplo que refuerza aún más esta observación, Laramore et al. (2001) ejecutaron en el mismo estudio un cuarto experimento con individuos de tres tallas distintas (PL25, PL40 y juveniles de 8 g), en el cual, después de 40 días de cultivo a 2‰, la supervivencia de las portlarvas fue de tan sólo 14 a 29%, mientras que los camarones juveniles tuvieron una supervivencia de 100%. Por consiguiente, los ejemplos anteriores ilustran claramente que el crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* está determinado, en gran medida, por una interacción entre la talla y/o edad de los organismos y la salinidad, y que el pobre desempeño biológico observado en baja salinidad que se reporta en la literatura es atribuible posiblemente al uso de organismos demasiado pequeños y/o jóvenes para enfrentar el reto osmoregulatorio de este ambiente.

Otro aspecto digno de ser tomado en cuenta es la fuente de agua dulce empleada para ajustar la salinidad en los diversos estudios. Con excepción del presente estudio, en ninguno de los estudios previos se utilizó agua desionizada o destilada para ajustar las salinidades experimentales. En su lugar, generalmente se ha utilizado agua dulce municipal ya sea para diluir agua marina o para disolver sal marina sintética (Ponce-Palafox et al.,

1997; Sowers et al., 2005). Laramore et al. (2001) utilizaron agua dulce de pozo y agua salada proveniente también de un pozo, mientras que Rosas et al. (2001) no especifican la fuente de agua dulce utilizada. Es bien conocido que el agua dulce, ya sea municipal o de pozo, siempre contiene minerales que varían en su concentración y composición dependiendo factores como localidad y época del año. Tomando en cuenta que para el cultivo de camarón en baja salinidad el perfil iónico del agua puede ser más importante que la salinidad misma (Saoud et al., 2003), el hecho aparentemente simple de utilizar agua dulce municipal o de pozo puede convertirse en un obstáculo para hacer inferencias adecuadas acerca de los resultados obtenidos. Por esto, debe preferirse el uso de agua desionizada o destilada al tratar de elucidar efectos atribuibles a la salinidad.

Como una respuesta típica a la exposición a baja salinidad, en los camarones peneidos se incrementa significativamente el catabolismo de aminoácidos de origen muscular o dietético, el cual es acompañado de una mayor tasa de excreción de nitrógeno amoniacal (Lange, 1972; Dalla Via, 1986; Jiang et al., 2000; Rosas et al., 2001; Lee and Chen, 2003). Bajo estas circunstancias, un suministro suficiente de proteína en la dieta es utilizado para la síntesis de tejido y también es utilizado preferentemente sobre los lípidos y carbohidratos como fuente de energía (Rosas et al., 1999, 2001). En un hallazgo interesante, Jiang et al. (2000) demostraron que la tasa de excreción de nitrógeno orgánico disuelto de *L. vannamei*, el cual se compone principalmente de aminoácidos libres y urea según Regnault (1987), disminuyó significativamente en organismos mantenidos a una salinidad de 10‰, en comparación con individuos cultivados a 25 y 40‰. Debido a que la excreción de moléculas útiles metabólicamente, tales como éstas, puede considerarse como un proceso de desaprovechamiento, estos resultados indican que el metabolismo de las proteínas transcurre más eficientemente en baja salinidad, lo cual representa una muy importante contribución para entender el superior desempeño biológico de *L. vannamei* observado en baja salinidad.

El efecto significativo de la salinidad observado sobre el crecimiento de los camarones en el presente estudio, que siguió el orden 2‰ > 35‰ > 50 ‰, coincidió con un efecto significativo de este factor sobre la concentración de oxígeno disuelto exactamente en el mismo orden: 2‰ (5.9 ± 0.1 mg/l) > 35‰ (5.0 ± 0.1 mg/l) > 50‰ (4.5 ± 0.1 mg/l). Estas diferencias pueden considerarse normales, dado que la capacidad del agua para

retener oxígeno es inversamente proporcional a la salinidad de la misma. A pesar de que los niveles de oxígeno disuelto en los tres tratamientos estuvieron por arriba de los niveles bajos críticos reportados para esta y otras especies de camarones peneidos (Seidman y Lawrence, 1985; Rosas et al., 1999), el hecho es que, en valores numéricos absolutos, la disponibilidad de oxígeno fue mayor para los camarones mantenidos en baja salinidad en una magnitud de 0.9 mg/l y 1.4 mg/l, con respecto a los organismos mantenidos a 35 y 50‰, respectivamente. Con base en la evidencia científica del efecto significativo de la disponibilidad del oxígeno disuelto en el medio sobre el metabolismo de camarones peneidos (Rosas et al., 1999), es posible que la mayor concentración de oxígeno disuelto presente en el agua con menor salinidad haya contribuido a la obtención de mayor talla de los organismos expuestos a dicho tratamiento, lo cual es digno de mayores investigaciones.

El porcentaje de humedad corporal de los organismos expuestos a 50‰ fue significativamente menor que el de los camarones mantenidos a 2‰ y 35‰, lo cual coincide con lo reportado por Sang y Fotadar (2004), quienes registraron menor crecimiento y porcentaje de humedad de músculo abdominal de *P. semisulcatus* mantenido a 46‰, en comparación con organismos sometidos a salinidades de 10, 22 y 34‰.

La carencia de diferencias significativas entre los porcentajes de humedad corporal de los organismos expuestos a 2 y 35‰ sugiere una aclimatación efectiva a la baja salinidad. A este respecto, en un bioensayo de 60 días con *L. setiferus*, Rosas et al. (1999) observaron un porcentaje de humedad corporal significativamente mayor en organismos sometidos a 15‰ (74% a 75% humedad), con respecto a camarones expuestos a 35‰ (67% humedad), lo cual indica una capacidad osmoregulatoria menos eficiente de esta especie, con respecto a *L. vannamei*.

No se observaron efectos significativos de la salinidad, del nivel de proteína o de su interacción sobre el porcentaje de proteína corporal de los organismos. A este respecto, Fang et al. (1992) tampoco reportaron diferencias significativas entre la composición de aminoácidos de músculo de *P. monodon* sometido a salinidades de 15‰, 30‰ y 45‰.

La falta de un efecto significativo del nivel de proteína sobre el porcentaje de proteína corporal y el crecimiento puede ser atribuible a la duración del experimento (32 días), el cual probablemente no fue lo suficientemente prolongado para detectar dichas diferencias. No obstante, si existió un efecto significativo del nivel de proteína sobre la

supervivencia de los organismos, el cual significativamente menor para los organismos que recibieron el más alto nivel de proteína (40% proteína, supervivencia de 74%), con respecto a los animales alimentados con las otras dietas (25%, 30% y 35% proteína; supervivencias de 99%, 91% y 94%, respectivamente). Puesto que el nitrógeno amoniacal alcanzó su nivel promedio más alto (5.2 ± 3.3 mg/l) precisamente en los tanques que recibieron dicho tratamiento, el resultado probablemente está asociado con la toxicidad de este compuesto, tomando en cuenta que los niveles máximos críticos o niveles seguros propuestos varían de 2.60 a 3.95 mg/l (Jiang et al., 1999; Lin y Chen, 2001).

Las concentraciones de nitritos-N, las cuales variaron en un intervalo de 0.0 mg/l a 0.3 mg/l, siempre fueron inferiores a los niveles críticos reportados por Lin y Chen (2003) (6.1 mg/l para agua de 15‰) y por Gross et al., 2004 (4.5 mg/l para agua de mar) para *L. vannamei*. Por su parte, los niveles de nitratos-N (0.1-1.6 mg/l) estuvieron también por debajo de los niveles considerados críticos para camarones peneidos, 232 mg/l según Tsai y Chen (2002). Por lo anterior, no es probable que alguno de estos compuestos haya afectado ni el crecimiento ni la supervivencia de los organismos. Sin embargo, las concentraciones de ambos compuestos se vieron afectadas de manera significativa por la salinidad, por el nivel de proteína dietética, así como por la interacción entre estos dos factores, en donde los más altos niveles para ambos compuestos coincidieron con los mayores niveles de proteína dietética, pero únicamente en agua de 35‰. En relación con lo anterior, algunos estudios han mostrado una cinética de nitrificación considerablemente más lenta en sistemas de cultivo de recirculación que utilizan agua de mar (35‰), en comparación con sistemas de cultivo de recirculación con agua dulce (Nijhof y Bovendeur, 1990; Chen et al., 2006). Sin embargo, es difícil asociar nuestros resultados con procesos de nitrificación dentro de los sistemas de cultivo, puesto que no contaban con recirculación/biofiltración, además de que se aplicaron altas tasas de recambio de agua, hasta 80% diariamente.

VI. CONCLUSIONES

- Se observó un efecto significativo de la salinidad sobre el crecimiento de *L. vannamei*. El peso final y peso ganado de los organismos mantenidos a una salinidad de 2‰ fue significativamente mayor al de organismos mantenidos en 35 y 50‰. A su vez, se observó crecimiento significativamente mayor de organismos cultivados a 35 que a 50‰, lo cual concuerda con los reportes de crecimiento mayor y menor de *L. vannamei* cultivado en ambientes hipo e hipersalinos, respectivamente.
- No se detectó un efecto significativo del nivel de proteína dietética ni de la interacción entre la salinidad y la proteína dietética sobre el crecimiento de *L. vannamei* bajo las condiciones experimentales del presente estudio.
- Se observó un efecto significativo de la proteína dietética sobre la supervivencia de *L. vannamei*, la cual fue significativamente mayor para los organismos que recibieron los niveles de proteína dietética de 25, 30 y 35%, en comparación con aquellos alimentados con un nivel de proteína de 40%.
- El porcentaje de humedad corporal fue afectado significativamente por la salinidad, teniendo los organismos mantenidos a salinidades de 2 y 35‰ un porcentaje de humedad corporal mayor al de los organismos cultivados a una salinidad de 50‰..
- No se detectó un efecto significativo de la salinidad, del nivel de proteína dietética o de la interacción entre estos dos factores sobre el porcentaje de proteína corporal.
- Las concentraciones de nitrógeno amoniacal aumentaron significativamente a medida que se incrementó el nivel de proteína dietética. Dichas concentraciones no fueron afectadas significativamente por la salinidad ni por la interacción entre la salinidad y la proteína dietética.
- Se observaron efectos significativos de la salinidad, del nivel de proteína dietética y de la interacción entre ambos factores sobre las concentraciones de nitritos-N y nitratos-N, cuyos más altos niveles coincidieron con los mayores niveles de proteína dietética únicamente en agua con salinidad de 35‰.

VII. RECOMENDACIONES

- Para estudios futuros realizados bajo condiciones experimentales similares, es necesario ampliar el tiempo de duración del bioensayo con el fin de incrementar las posibilidades de detectar efectos significativos sobre el crecimiento atribuibles al nivel de proteína dietética.
- Así mismo, es recomendable incorporar el proceso de recirculación/biofiltración a los sistemas de cultivo. Esto permitirá mantener bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal, compuesto que en el presente estudio alcanzó niveles que pudieron haber afectado la supervivencia de los organismos que recibieron los más altos niveles de proteína dietética.

VIII. LITERATURA CITADA

- Boyd, C. E., 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied Aquaculture Departmental series No.2, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Al, USA, 83 p.
- 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 IHNV virus and salinity. *Aquaculture* 122, 133-146.
- Brito, R., Chimal, M. E. and Rosas, C., 2000. Effect of salinity in survival, growth, and osmotic capacity of early juveniles of *Farfantepenaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae). *Aquaculture*, 253-263.
- Claybrook, D. L., 1983. Nitrogen metabolism. In: Mantel, L. H. (Ed.), *The Biology of Crustacea, Internal Anatomy and Physiological Regulation*, vol. 5. Academic Press, New York, pp. 163-213. En: Rosas, C., Cuzon G., Gaxiola, G., Le Priol, Y., Pascual, C., Rossignol, J., Contreras, F., Sanchez, A. and Van Wormhoudt, A., 2001. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 259, 1-22.
- Davis, D. A., Samocha, T. M., Boyd, C. E., 2004. Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to Inland, Low-Salinity Waters. SRAC Publication No. 2601.
- De la Lanza-Espino, G., García-Calderón, G., Torrilla-Hernández y Arredondo-Figueroa, J. L., 1993. Ambiente y Pesquerías en el Litoral del Pacífico Mexicano, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- Flaherty, M. Szuster, B. and Miller, P., 2000. Low inland Shrimp farming in Thailand. *Ambio* 29 (3), 174-179.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1994. Aquaculture Production (1986-1992). FAO Fisheries Circular 815 (Rev. 6). FAO, Rome.
- Harpaz, S. and Karlplus, I. 1991. Effect of salinity on growth and survival of juvenile *Penaeus semisulcatus* reared in the laboratory. Israeli J. Aquacult. Bamidgeh, 43,156-163. En: Soyel, H.I and Kumlu M. 2003. The effects of salinity on postlarval of *Penaeus semisulcatus* (Decapoda: Penaeidae). Turk J. Zool. 27,221-225.
- Kureshy, N., Davis, D.A.,2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 204,125-143.
- Lee, W.C. and Chen, J.C., 2003. Hemolymph ammonia, urea and acid levels and nitrogenous excretion of *Marsupenaeus japonicus* at different salinity levels. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 288, 39-49.
- Lemos, D., Phan, V.N. and Añvarez, G., 2001. Growth, oxygen consumption, ammonia-N excretion, biochemical composition and energy content of farfantepenaeus paulensis Pérez-Farfante (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) early postlarvae in different salinities. Aquaculture 261, 55-74.
- McIntosh, D., Samocha, T.M., Jones, E.R., Lawrence, A.L., Horowitz, S. and Horowitz, A., 2001. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. Aquacultural engineering 25, 69-82.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R. and Ruíz-Fernández, A.C., 1999. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters on the Gulf of California. Marine Pollution Bulletin, 38: 585-592.

- Pan, L.-Q., Xiao, G.-Q., Zhang, H.-X. and Luan, Z.-H., 2005. Effects of different dietary protein content on growth and protease activity of *Eriocheir sinensis* larvae. Aquaculture, Article in press.
- Panorama Acuícola., 2002. Tecomán. polo de desarrollo del camarón de agua dulce:28-31.
- Pequeux, A., 1995. Osmotic regulation in crustaceans. Journal Crustacean Biology, 15,1-60.
- Perez-Velazquez, M., González-Félix, M.L., Jaimes-Bustamante, F., Martínez-Córdova, L.R., 2006. Evaluation of dietary protein level for *Litopenaeus vannamei* in hypo- and hyper-saline environments. Aquaculture America 2006. Las Vegas, Nevada, USA. February 13-16.
- Ponce-Palafox, J., Martínez-Palacios, C.A. and Ross, L. G., 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.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Le Priol, Y., Pascual C., Rossignol, J., Contreras, F., Sanchez, A. and Van Wormhoudt, A., 2001. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 259, 1-22.
- Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola, G., Brito, R., Sánchez, A. and Soto L. A., 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 234, 41-57.
- Rosenberry, B., 1993. World Shrimp Farming 1993. Aquaculture Digest, December 1993, pp 52.

- Rosenberry, R., 1998. World Shrimp Farming 1998. Shrimp News International, San Diego, California, USA.
- SAGARPA, 2004. Comunicado NUM. 078/04. Coordinación General de Comunicación Social Municipio Libre No. 377, PB, Ala B, Col. Santa Cruz Atoyac, Deleg. Benito Juárez, C.P. 03310. México, D.F., Tel. 91.83.10.00, Ext. 33055, 33056, 33062
- Saoud, I. P., Davis, A. D., Rouse, D. B., 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 217, 373-383.
- Samocha, T. M., Lawrence, A. L., Bray, W. A., 1993. Design and operation of an intensive nursery raceway system for penaeid shrimp. In *Handbook of mariculture: crustacean aquaculture* (Mac Vey, J.P. ed.), pp.173-210. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Samocha, T.M., Blacher, T. and Estrada, E., 2000. High-density nursery of *Litopenaeus vannamei* in raceway discharge in a WSSV-infected area. In: NP. D.E. Jory, editor. *Proceedings, 4th Annual Meeting of the Latin American Chapter/WAS*, Panama, Panama. 25-28 October 2000.
- Samocha, T.M., Davis, A.D., Lawrence, A.L., Collins, C.R., Van Wyk, P., 2001. Intensive and super-intensive production of the Pacific white *Litopenaeus vannamei* in greenhouse-enclosed raceways systems. *Book of Abstracts, aquaculture 2001*, Lake Buena Vista, FL, 573.
- Samocha, T.M., Hamper, L., Emberson, C.R., Davis, A.D., McIntosh, D., Lawrence, A.L., Van Wyk, P., 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida. *J. Appl. Aquac.* 12 (1), 1-30.
- SAS Institute, Inc. SAS System for Windows 6.11. 1999-2000. Cary, NC, USA.

- Smith, L.L., Lawrence, A.L., 1990. Feasibility of peneid shrimp culture in inland saline groundwater-fed ponds. *Tex. J. Sci.* 42 (1), 3-12.
- Solarzano, L. Determination of ammonia in natural waters by phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography*. 1969. 14, 799-801.
- Soyel, H.I and Kumlu M. 2003. The effects of salinity on postlarval of *Penaeus semisulcatus* (Decapoda: Penaeidae). *Turk J. Zool.* 27,221-225.
- Spanopoulos-Hernández, M., Martínez-Palacios, C.A., Vanegas-Pérez, R.C., Rosas, C. y Ross, L.G., 2005. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson,1874). *Aquaculture* 244, 341-348.
- Spotte, S. Fish and invertebrate culture: water management in closed systems. 2nd edition.- Wiley and Sons. 1979. New York, New York, USA.
- Strurmer, L.N., Samocha, T.M., Lawrence, A.L., 1992. Intensification of peneid nursery systems. In: *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices* (Fast, A.W. & Lester, L.J. eds.), pp. 321-344. Elsevier Science Publishing Inc., New York, New York, USA.
- Treece, G.D., Fox, J.M., 1993. Design, Operation and Training Manual for an Intensive Culture Shrimp Hatchery. Texas A&M University Sea Grant College Program. TAMU-SG-93-505. College Station, Texas, USA.
- Velasco, M., Lawrence, A.L., Nelly, W.H., 1998. Development of a static-water ecoassay with microcosm tanks for postlarval *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 161, 79-87.
- Velasco, M., Lawrence, A.L. Castille, F.L., Obaldo, L.G., 2000. Dietary protein requirement for *Litopenaeus vannamei*. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cercedo, R., (Eds). *Avances en Nutrición Acuícola*

V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 19-22
Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, México.

Villalón, J.R., 1991. Practical Manual for Semi-intensive Comercial Production of Marine
Shrimp. Texas A&M University Sea Grant College Program. TAMU-SG-91-501.
College Station, Texas, USA.

Ris. 935