



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S. C.**

Programa de Estudios de posgrado

**COMPORTAMIENTO Y MANEJO ECOLÓGICO DE
ESTANQUES DE CULTIVO DE CAMARÓN CON BAJO
RECAMBIO DE AGUA**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

(Orientación Acuicultura)

P r e s e n t a

Luis Rafael Martínez Córdova

La Paz, B.C.S., Marzo de 1998

PREFACIO

La presente tesis está basada en nueve artículos científicos, tres de las cuales se encuentran ya publicados, tres más están aceptados para su publicación y los tres últimos se encuentran en el proceso de revisión.

ARTICULOS PUBLICADOS

Martinez-Cordova, L., Villarreal-Colmenares, H., and Porchas-Cornejo, M. 1995. Culture of white shrimp *Penaeus vannamei* in reduced water exchange ponds in Sonora, Mexico. *World Aquaculture*, 26(4) :47-48.

Martinez-Cordova, L., Villarreal-Colmenares, H., Porchas-Cornejo, M., Naranjo-Paramo, J., and Aragon-Noriega, A. 1997. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. *Aquacultural Engineering*, 16 :85-90.

Martinez-Cordova, L., Porchas-cornejo, M., Villarreal-Colmenares, H., Calderon-Perez, J., and Naranjo-Paramo, J. 1997. Evaluation of three feeding strategies on the culture of white shrimp *Penaeus vannamei* Boone, 1931. In low water exchange ponds. *Aquacultural Engineering*.

ARTICULOS ACEPTADOS

Martinez-Cordova, L., Porchas-Cornejo, M., Villarreal-Colmenares, H., and Calderon-Perez, J. 1998. Winter culture of yellowleg shtimp *Penaeus californiensis* in aereated ponds with low water exchange. *J. World Aquac. Soc.*, 29(1) :129-133.

Martinez-Cordova, L., Porchas-Cornejo, M., Villarreal-Colmenares, H., and Calderon-Perez, J. 1998. Effect of aeration of chlorophyll-a, zooplankton and benthos in yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* farming ponds. *Journal of Applied Aquaculture*.

Martínez Cordova, L., Porchas Cornejo, M., y Villarreal colmenares, H. 1998. Respuesta del fitoplancton, zooplancton y bentos a tres estrategias de alimentación

utilizadas en el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei* Boone, 1931 en estanques con bajo recambio. *Investigaciones Marinas*.

ARTICULOS EN REVISION

Martínez-Córdova, L., Villarreal-Colmenares, H., and Porchas-Cornejo, M. Response of biota to aeration rate in low water exchange ponds farming white shrimp *Penaeus vannamei* Boone, 1931. *Aquaculture Research*.

Martínez-Córdova, L., Porchas-Cornejo, M., Villarreal-Colmenares, H., and Calderón Pérez, J. Evaluation of three feeding practices on the winter culture of yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* Holmes, 1900 in low water exchange ponds. *Aquaculture Research*.

Martínez Córdova, L., Porchas Cornejo, M., y Villarreal Colmenares, H. Efecto de tres diferentes estrategias de alimentación sobre el fitoplancton, zooplancton y bentos en estanques de cultivo de camarón café *Penaeus californiensis* (Holmes, 1900). *Ciencias Marinas*.

Comité Tutorial:

Dr. Humberto Villarreal Colmenares (Centro de
Investigaciones Biológicas del Noroeste)
Dr. Jean Charles Guillaume (IFREMER, Francia)
Dr. José Antonio Calderón Pérez (Instituto de
Ciencias del Mar y Limnología, UNAM)
Dr. Claude Combes (Universidad de Perpignan, Francia)

Comité Revisor:

Dr. Humberto Villarreal Colmenares
Dr. Jean Charles Guillaume
Dr. José Antonio Calderón Pérez
Dr. Claude Combes

Jurado:

Dra Ana Maria Ibarra Humphries
Dr. José Antonio Calderón Pérez
Dr. Jean Charles Guillaume
Dr. Roberto Civera Cerecedo
Dr. Humberto Villarreal Colmenares

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo sin el cual no me hubiera sido posible la realización de mis estudios de posgrado.

Al Dr. Humberto Villarreal Colmenares por la atinada dirección de mi programa de doctorado.

A los miembros de mi comité tutorial: Dr. Jean Charles Guillaume, Dr. Claude Combes y Dr. José Antonio Calderón Pérez por su constante ayuda para llevar a buen término las investigaciones planeadas y la redacción del documento final.

Al personal administrativo del Programa de Postgrado del CIB-NOR: Dr. Sergio Hernández, Sra. Maria Gómez Medina, Lic. Sergio Sevilla, Lic. Leticia Gonzalez y Horacio ¿? por su atención, apoyo y amabilidad.

A Marco Antonio Porchas Cornejo, José Naranjo Páramo, Mario Osuna, Ricardo Loreto, Isidro Vázquez Salgado y Jesús Vázquez Salgado por su apoyo técnico en el desarrollo del trabajo de campo.

A mis compañeros del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, por su constante motivación y apoyo para lograr esta importante meta.

*A JULIA, mi querida esposa por su
paciencia y aliento para lograr la meta
propuesta.*

*A MARCEL, MARYSOL y MARIEL
mis adorados hijos que fueron la fuente
de inspiración en los momentos difíciles.*

*A mis hermanos y amigos que
me alentaron (o al menos no me
desalentaron en mi intento por
conseguir este sueño.*

*A mis padres ORALIA y Rafael quienes
seguramente desde el cielo estarán gozando
por mis logros alcanzados*

CONTENIDO

	Página
Prefacio	i
Comités	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatorias	v
Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	5
Material y Métodos	6
Discusión de Resultados	7
Fase Preliminar	7
Primera Fase Experimental	8
Segunda Fase Experimental	9
Tercera Fase Experimental	12
Cuarta Fase Experimental	14
Conclusiones	16
Recomendaciones	18
Referencias Bibliográficas	19
Apéndice	22

RESUMEN

Se llevaron a cabo una serie de investigaciones durante 2 años con el fin de conocer el comportamiento ecológico de estanques de cultivo de camarón con un recambio de agua de menos de 5 % diario. El estudio se enfocó básicamente a conocer la respuesta de la población cultivada, así como la de las comunidades bióticas y la calidad del agua en los estanques, al manejo de ciertos factores inducidos tales como la aireación y las estrategias de alimentación. Se trabajó con dos especies: el camarón blanco del Pacífico, *Penaeus vannamei* (Boone, 1931), para la época verano-otoño, y el camarón café del Pacífico, *Penaeus californiensis* (Holmes, 1900), para la época otoño-invierno.

El estudio se llevó a cabo en Bahía de Kino, Sonora y se utilizaron estanques de tierra de 200 m² de espejo de agua. Para todas las corridas se utilizó un diseño experimental simple en un arreglo completamente al azar, con tres repeticiones.

Los resultados indican que es posible el cultivo de estas dos especies en estanques de bajo recambio, siempre y cuando una aireación de al menos 6 horas diarias sea suplementada. El crecimiento, sobrevivencia, producción y conversión alimenticia fueron superiores para el camarón blanco. La tasa de aireación y la estrategia de alimentación afectaron significativamente el desarrollo de la población cultivada de las dos especies. También tuvieron un efecto significativo en el desarrollo de las comunidades bióticas en los estanques (sobre todo zooplancton y bentos), así como en algunos parámetros de la calidad del agua, entre ellos: oxígeno disuelto, amonio, nitratos, materia orgánica en agua y sedimento y demanda bioquímica de oxígeno. El desarrollo de las dos especies estuvo muy relacionada con la abundancia de ciertos organismos de las comunidades zooplanctónica y bentónica.

INTRODUCCION.

La camaronicultura se ha consolidado en los últimos 15 años como una actividad productiva de enorme importancia a nivel mundial. La producción camaronícola ha pasado de unas 60 mil toneladas en 1980, a más de 700 mil en 1995 (Rosenberry, 1995; FAO, 1995). Esto representa alrededor del 30 % de la producción total de camarón, y aún se espera un crecimiento del orden del 5 % anual en los próximos 10 años (Landau, 1992).

En México sin embargo, este auge no se ha dado en forma tan importante, aún cuando en los últimos 5 años ha habido un avance significativo de la actividad. Actualmente en nuestro país, la producción camaronícola es de aproximadamente 15,000 toneladas (Panorma Acuícola, 1996), lo cual solamente representa alrededor del 2 % de la producción total de camarón cultivado en el mundo. Sin embargo, México tiene innegables ventajas para convertirse en una potencia camaronícola mundial. Entre ellas se pueden destacar: a).- El hecho de que gran parte de su territorio está ubicado en las franjas tropical y subtropical que son las más adecuadas para el cultivo de la mayoría de las especies comerciales de camarón; b).- La enorme superficie de planicies costeras de que dispone, las cuales no son aptas para la agricultura convencional, pero sí para la acuicultura; c).- Su vecindad con el principal mercado mundial de camarón, los Estados Unidos.

Sorprendentemente, la camaronicultura se está desarrollando mayormente en la región noroeste del país, la cual está fuera de la zona tropical, y una gran parte de ella incluso fuera de la zona subtropical. Esto obedece básicamente a que en esta región existe una mayor disponibilidad de tierras costeras no útiles para la agricultura tradicional, pero sí para la acuicultura; hay una mayor participación de la iniciativa privada en la actividad, y una mayor cercanía del mercado estadounidense. Sin embargo se tiene el inconveniente de que las especies tropicales como el camarón blanco *Penaeus vannamei* y el camarón azul *Penaeus stylirostris*, no puedan cultivarse exitosamente durante todo el año, sino solamente en la época en que la temperatura presenta valores promedio superiores a los 20 °C. Para el caso de Sonora y Baja California Sur, esto se da únicamente de fines de marzo a fines de octubre. Es decir que 5 meses del año no son aptos para el cultivo de estas especies, lo cual impacta negativamente la rentabilidad de los proyectos, debido a que la infraestructura permanece ociosa durante mucho tiempo. Con base

en esto se han buscado alternativas de producción. Una de ellas es la de cultivar especies tropicales durante la época cálida del año y especies no tropicales durante la época fría.

Una de las especies que se han tomado en consideración para este propósito, es el camarón café del Pacífico, *Penaeus californiensis*. Este es un camarón nativo del Pacífico Americano con un rango de distribución que va desde la Bahía de San Francisco en los E.U. hasta Perú, incluyendo el Golfo de California (Hendrickx, 1996). El camarón café ya había sido cultivado experimentalmente (CICTUS, 1994), sin embargo fue sustituido por otras especies como el camarón azul y el camarón blanco, las cuales presentan mejores características para el cultivo, como son: una mejor tasa de crecimiento, una mayor resistencia al manejo y un mejor precio en el mercado. Sin embargo estas especies no crecen durante la época fría del año y en la región noroeste de México, solo pueden ser cultivadas exitosamente de marzo a octubre. El camarón café en cambio, ha demostrado poder crecer a temperaturas menores de 20°C. Algunos cultivos experimentales se han desarrollado en Baja California Sur (Magallón et. al., 1994; Porchas et. al., 1994) y Sonora (Martínez, 1994). Incluso un cultivo comercial ha sido recientemente finalizado (Figueroa, 1996), con resultados promisorios.

La alimentación artificial y el bombeo de agua son dos de los gastos operativos más importantes en el cultivo intensivo y semi-intensivo de camarón. Ellos representan más del 60 % de los costos fijos (Usha-Rani, 1993; Zendejas, 1994; Cruz, 1991). Esto resalta la importancia de un manejo adecuado de estos dos parámetros, lo cual se reflejará en la rentabilidad del cultivo.

Respecto a la alimentación, una de las alternativas más viables es el aprovechamiento del alimento natural que se da en los estanques a partir de una adecuada fertilización y la incorporación de nutrientes provenientes del alimento no consumido y de los metabolitos producidos por el camarón y otras comunidades en el estanque. Esto se ve reflejado en una alta productividad primaria, la cual a su vez sostiene a una compleja comunidad zooplanctónica y bentónica que puede servir como alimento a la población cultivada. La contribución del alimento natural ha sido suficientemente probada por diferentes autores. Anderson et al. (1987) sostienen que la productividad natural contribuye con el 53 al 77 % de la nutrición del camarón cultivado en estanques semi-intensivos. Castille and Lawrence (1988) estiman que el alimento natural contribuye con más del 50 % a la nutrición del camarón blanco, *Penaeus vannamei*. Otros autores como Leber

and Pruder (1988), Rubright (1988), Sandifer and Hopkins (1996), Jory (1996) etc., han destacado también la importancia del alimento natural en la nutrición de camarón cultivado. Los organismos que el camarón utiliza en su alimentación, provienen principalmente del zooplancton (Chen y Chen, 1992; Yufera, 1984) y del bentos (Rubright, 1981). El problema fundamental es como mantener una adecuada productividad de aquellos organismos que el camarón realmente consume, dado que el pastoreo supera normalmente la capacidad reproductiva de estos organismos (White, 1986). Es necesario en primer término tener un conocimiento suficiente de las comunidades que se desarrollan en los estanques y saber como responden a diversos factores naturales (temperatura, salinidad, OD, etc.) o inducidos (recambio de agua, aereación, estrategias de alimentación etc).

Una práctica común de la camaronicultura tanto en México como en otras partes del mundo es la de sobrealimentar para acelerar el crecimiento de los organismos en cultivo. Esto no solamente no da los resultados esperados, sino además contribuye a la degradación de la calidad del agua y el sedimento, lo cual posteriormente se traduce en serios problemas para el desarrollo de la población cultivada (Sandifer and Hopkins, 1996; Salame, 1993; Cruz, 1991). Es por ello necesario elegir aquellas estrategias de alimentación que demuestren ser más eficientes tanto en el incremento de peso, sobrevivencia, productividad y tasa de conversión alimenticia (FCA por sus siglas en inglés), así como en el mantenimiento de condiciones adecuadas en la calidad del agua y sedimento.

Respecto al recambio de agua, la mayoría de las granjas semi-intensivas en México y en el mundo, utilizan un recambio de entre 10 y 15 % diario, cuyo bombeo representa alrededor de un 10 % de los costos fijos del proyecto (Usha-Rani, 1993). Sin embargo, investigaciones recientes (Hopkins et al, 1994; Sandifer y Hopkins, 1996; Hopkins et al. 1996) han demostrado que este recambio se puede disminuir significativamente e incluso eliminar sin menoscabo de la producción, siempre y cuando otros parámetros como aireación, alimentación, mezcla, fertilización, remoción de materia orgánica, etc. sean manejados adecuadamente. Esto sin embargo pudiera no ser del todo aplicable a ciertas regiones. Por ejemplo en las regiones semi-áridas un recambio muy bajo puede propiciar aumentos drásticos de salinidad, la cual puede llegar a niveles no aptos para el cultivo de camarones peneidos (Bray et al, 1994). Tal es el caso de la región noroeste de México en la que se llevó a cabo el presente estudio. Por otra parte los niveles de oxígeno, sobre todo en la

mañana, se pueden abatir hasta niveles peligrosos para el desarrollo de las especies cultivadas (Lawrence et al 1983, Lee and Wickins, 1992).

OBJETIVOS.

El objetivo general de la investigación fué el de evaluar el efecto de 4 diferentes tasas de aireación y tres distintas estrategias de alimentación en el desarrollo del camarón blanco *Penaeus vannamei* y del camarón café *P. californiensis*, así como en el desarrollo de las comunidades bióticas y la calidad del agua y sedimento, en estanques con recambios inferiores al 5 % diario.

MATERIAL Y METODOS.

La investigación fue realizada en las instalaciones de la Unidad Experimental Kino del DICTUS en Bahía Kino, Sonora. Se utilizaron como unidades experimentales, estanques de tierra de 200 m² de espejo de agua. El agua fué bombeada del estero La Cruz y surtida a los estanques a través de tubo PVC de 4" de diámetro con válvulas individuales para controlar el flujo. Se trató de mantener un flujo de 5% diario de la capacidad de los estanques, el cual incluyó las pérdidas por evaporación y filtración. El recambio real fue entre 2 y 3 %, dependiendo de la época del año. La aireación fue surtida a los estanques por medio de un soplador de aire Rotron de 5 h.p., a través de tubería PVC de una pulgada de diámetro, la cual recorría los estanques por su parte media.

La investigación se planteó en 5 fases: una preliminar y 4 experimentos formales. La fase preliminar fue diseñada para establecer el menor recambio de agua con el que se podía trabajar. La primera fase experimental evaluó el efecto de 4 tasas de aireación en el desarrollo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. La segunda fase experimental, hizo lo mismo, pero para el camarón café *Penaeus californiensis*. Las fases experimentales 3 y 4, evaluaron el efecto de tres diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo del camarón blanco y camarón café, respectivamente. En cada una de las fases experimentales, se consideró también el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las comunidades bióticas (fitoplancton, zooplancton y bentos) y sobre la calidad del agua en los estanques.)

DISCUSION DE RESULTADOS.

Fase Preliminar.

Los resultados obtenidos en la fase preliminar fueron publicados en el artículo titulado "Culture of white shrimp *Penaeus vannamei* in reduced water exchange ponds in Sonora, Mexico", el cual apareció en la revista **World Aquaculture**, Vol. 26, No. 4, de Diciembre de 1995. De acuerdo a este estudio, se encontró que un recambio de agua de 7.5% diario, no fue significativamente diferente en términos de crecimiento, sobrevivencia y producción de camarón, respecto a recambios de 10 y 15%. Sin embargo con un recambio de 5% diario, se obtuvieron valores notablemente menores de los 3 parámetros mencionados. También hubo diferencias en cuanto a algunos parámetros de la calidad del agua. La salinidad fue notablemente mayor en los estanques con menor recambio. En el de 5%, se llegaron a alcanzar valores de hasta 55 partes por mil. Esto niveles están mucho más arriba del límite considerado adecuado para el cultivo de camarones peneidos (Bray et al. 1994). El oxígeno disuelto, tanto en la mañana como al medio día, presentó valores más bajos en los estanques con menor recambio de agua. En el estanque con 5% de recambio se registraron en ocasiones valores menores de 2 mg/L. Esto valores son mucho más bajos que los recomendados para el cultivo de camarones peneidos (Lawrence et al. 1981, 1983; Tseng, 1988; Clifford, 1994; Browdy, 1996). La demanda bioquímica de oxígeno, tanto del agua como del sedimento, fue mayor en los estanques con menor recambio. Sin embargo en ninguno de los casos se acercó siquiera a los niveles obtenidos típicamente en efluentes de cultivos comerciales de camarón (Lin y Nash, 1996), ni a los considerados como máximos permisibles en descargas acuícolas (Schwartz y Boyd, 1994). Los valores de nitrógeno total (incluyendo nitratos, nitritos y amonio-amonia) fueron también más altos en el estanques con 5% de recambio, al igual que los fosfatos. Sin embargo en ninguno de los casos llegaron a los niveles considerados peligrosos.

Con base en estos resultados, se consideró que el recambio de 5% diario se podría utilizar como mínimo, únicamente si se aplicaba aireación artificial a los estanques. Las primeras dos fases experimentales estuvieron entonces enfocadas a evaluar el efecto de

diferentes tasas de aireación en el desarrollo del camarón blanco y del camarón café, así como en el comportamiento de las comunidades bióticas y la calidad del agua en los estanques.

Primera Fase Experimental.

La primera corrida experimental se llevó a cabo de julio a noviembre de 1995.

Los resultados de la primera fase experimental fueron incluidos en dos artículos. El primero es "Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds", aparecido en la revista **Aquacultural Engineering**, Vol. 16, paginas 85-90, de 1997. Este artículo presenta los resultados del efecto de 4 tasas de aireación: 0, 6, 12 y 24 horas/día, sobre el crecimiento, sobrevivencia y biomasa del camarón blanco y sobre la calidad del agua.

De acuerdo a estos resultados, la tasa de aireación tiene un efecto significativo tanto en el desarrollo del camarón blanco *Penaeus vannamei*, como en la calidad del agua de los estanques. No se observaron diferencias significativas respecto al crecimiento del camarón, pero sí en cuanto a la sobrevivencia y producción obtenidas. El tratamiento con 0 horas de aireación presentó los valores más bajos de estos dos parámetros, mientras que en los otros 3 tratamientos no se observaron diferencias significativas. La sobrevivencia (43.21%) y la biomasa (1243 kg/ha) obtenidas en el tratamiento con 0 horas de aireación están por debajo de los niveles promedio obtenidos para cultivos semi-intensivos, mientras que los obtenidos en los otros 3 tratamientos son similares o superiores (Tseng, 1988; Clifford, 1994; Lee and Wickins, 1992).

Respecto al efecto en la calidad del agua, se observaron diferencias significativas en los niveles de oxígeno disuelto a las 06:00 horas, los cuales fueron más bajos en el tratamiento con 0 horas de aireación. No hubo diferencias significativas entre los otros tratamientos. La concentración de materia orgánica en el sedimento fue también significativamente más alta en el tratamiento con 0 horas de aireación, con respecto al de 24 horas.

El segundo artículo titulado "Response of biota to aeration rate in low water exchange ponds farming white shrimp *Penaeus vannamei* Boone 1931", fue enviado para su publicación en la revista **Aquaculture Research**, pero hasta el momento no ha sido aceptado y está en proceso de revisión.

En este artículo se evalúa el efecto de las 4 tasas de aireación sobre el desarrollo del fitoplancton (medido como concentración de clorofila a), zooplancton y bentos en estanques cultivando camarón blanco. De acuerdo a estos resultados, la aireación tiene un efecto significativo en la concentración de clorofila a, así como en la abundancia de zooplancton y bentos. La concentración de clorofila a fue más alta en el tratamiento con 0 horas/día de aireación, que en el de 24 horas. La abundancia más alta de zooplancton y bentos se observó en los tratamientos con 0 y 6 horas de aireación/día. Se discute el hecho de que en los tratamientos en los que hubo una mayor abundancia de organismos zooplanctónicos y bentónicos, hubo también una mayor crecimiento del camarón. Por otra parte se observó que generalmente en los estanques en donde hubo una mayor sobrevivencia (y por lo tanto una mayor densidad) de camarón, que fueron los estanques con mayor tasa de aireación, la abundancia del zooplancton y del bentos se mantuvo por lo general más baja a través del período de cultivo. Esto sugiere también un consumo de estos organismos por parte del camarón cultivado. Se apoyan con esto las observaciones de otros autores sobre la gran importancia que estas comunidades tienen en la nutrición del camarón cultivado (Castille and Lawrence, 1988; Rubright et al. 1981; Anderson et al. 1987; Jory, 1995, 1996, entre otros). La disminución de los organismos del zooplancton y bentos a medida que transcurría la corrida experimental no estuvo del todo correlacionada con la productividad primaria en el estanque, por lo que ésta pudiera atribuirse en buena medida al pastoreo por parte del camarón. Esto fue apoyado por análisis de contenido estomacal de los camarones en tres diferentes fechas de la corrida experimental. Se observó que cuando en los estanques había una mayor concentración de organismos tanto del zooplancton como del bentos, había también una mayor abundancia de ellos en el tracto digestivo de los camarones y que con el transcurso del tiempo esta concentración iba en descenso. Esto sugiere que el camarón pastorea sobre estas comunidades a una tasa superior a la capacidad reproductiva de las mismas.

Segunda Fase Experimental.

En la segunda corrida, llevada a cabo de julio a diciembre de 1995, se realizó el mismo experimento que en la primera, pero ahora sobre el camarón café del Pacífico *Penaeus californiensis*.

Los resultados están incluidos en dos publicaciones. La primera de ellas tiene por título "Winter culture of yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* in aerated ponds with low water exchange", la cual ha sido aceptada para su publicación en el **Journal of the World Aquaculture Society**, y aparecerá en el volumen 29, No. 1, de marzo de 1998. En este artículo se discute el efecto de las 4 tasas de aireación en el desarrollo del camarón café y en algunos parámetros de la calidad del agua. Se encontró que la tasa de aireación, al igual que para el camarón blanco, afectó el desarrollo de los organismos cultivados. En este caso hubo diferencias significativas entre los tratamientos, en crecimiento, producción y tasa de conversión alimenticia, mas no así en sobrevivencia. Los crecimientos obtenidos en los tratamientos de 6 y 12 horas/día de aireación fueron superiores a los observados en los otros dos tratamientos. La producción obtenida observó la misma tendencia. La tasa de conversión alimenticia mostró el comportamiento exactamente opuesto, es decir fue mayor para los tratamientos con 0 y 24 horas/día de aireación. Los crecimientos, sobrevivencias, producciones y tasas de conversión alimenticia obtenidos en los tratamientos con más de 6 horas de aireación, aunque fueron inferiores a los obtenidos con el camarón blanco en el cultivo anterior, y a los considerados estándar para cultivos semi-intensivos (Tseng, 1988; Lee and Wickins, 1992; Clifford, 1994), no son del todo malos, considerando las condiciones en que fueron realizados (temperaturas promedio alrededor de 18°C, salinidades sobre 40 ppm, etc.). Respecto a los parámetros de la calidad del agua, prácticamente todos observaron diferencias a través del experimento, pero solo algunos de ellos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. El oxígeno a las 06:00 horas fué significativamente más alto en el tratamiento de 24 horas que en el de 0 horas. Las concentraciones de amonio/amoniaco fueron más elevadas en los tratamientos con menor tasa de aireación, al igual que la materia orgánica en el sedimento y la demanda bioquímica de oxígeno. Existe una relación muy estrecha entre estos tres parámetros. La materia orgánica al degradarse demanda oxígeno de la columna de agua, y su degradación produce metabolitos como el amonio. En los estanques con mayor concentración de oxígeno, el amonio puede ser rápidamente oxidado a nitritos y nitratos. Por lo tanto los estanques con mayor aireación lógicamente presentarán los niveles más bajos de amonia. Los valores más elevados de amonia, materia orgánica y demanda bioquímica de oxígeno encontrados en cualquiera de los tratamientos, fueron notablemente menores que los encontrados para

la mayoría de las descargas camaronícolas (Lin and Nash, 1996), e inclusive que los niveles máximos recomendados para descargas acuícolas (Schwartz y Boyd, 1994). Los resultados de este estudio, permiten vislumbrar la factibilidad técnica del cultivo de camarón café en estanques de bajo recambio para las épocas invernales en regiones de climas extremos como el noroeste de México. Se sugiere sin embargo un estudio económico meticuloso para evaluar la factibilidad económica de dicho cultivo.

El segundo artículo se titula "Effect of aeration on chlorophyll a, zooplankton and benthos in yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* farming ponds", y ha sido aceptado para su publicación en el **Journal of Applied Aquaculture**.

En este artículo se discute el efecto de las 4 tasas de aireación en el desarrollo del fitoplancton (medido como concentración de clorofila a), zooplancton y bentos, en estanques de bajo recambio, cultivando camarón café.

Se encontró que la tasa de aireación tuvo un efecto significativo sobre la abundancia del zooplancton y bentos, más no así en el fitoplancton (clorofila a). Las tres comunidades variaron significativamente a través del experimento. El zooplancton presentó sus mayores abundancias en el primer mes de cultivo, posteriormente disminuyó y volvió a recuperarse hacia el final del mismo. Esta variación se puede explicar en parte por el comportamiento temporal de la productividad primaria en los estanques, pero también está asociada al pastoreo por parte del camarón. Cuando el camarón está muy pequeño, no puede consumir una gran cantidad de organismos del zooplancton que son más grandes que él. Posteriormente al ir creciendo, es capaz de capturarlos y ejerce una presión sobre su población. Cuando su talla es ya muy grande, tampoco puede capturar muchos de los organismos que son bastante más pequeños que él, y entonces permite la recuperación de la población. Esto nuevamente se comprobó con el análisis de contenido estomacal, aunque estos resultados no están contenidos en la publicación. El bentos también mostró una variación significativa a través de la corrida experimental. Los valores más altos se alcanzaron alrededor de la semana 6; a partir de entonces hubo un marcado decremento, de tal manera que al final del cultivo la abundancia fue muy baja. Esto es atribuible al pastoreo por parte del camarón, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por otros autores para otras especies de camarón (Leber et al. 1988; Rubright et al. 1981). También apoyan esta hipótesis los análisis de contenido estomacal.

En los tratamientos con 6 y 12 horas de aireación, en los que tanto la comunidad zooplanctónica como bentónica, fueron las más abundantes, fue también en donde se obtuvieron los mejores crecimientos y biomasa, así como las más bajas tasas de conversión alimenticia. Esto refuerza, al igual que en el caso del camarón blanco la hipótesis de que el alimento natural tiene una enorme contribución en la nutrición de camarón en estanques, tal como ha sido documentado por numerosos autores ya citados.

Tercera Fase Experimental.

La tercera corrida experimental se desarrolló de julio a noviembre de 1996 y tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo del camarón blanco cultivado en estanques de bajo recambio y con 6 horas de aireación, así como en el comportamiento de las comunidades bióticas y en la calidad del agua.

Los resultados se encuentran incluidos en dos artículos científicos. El primero de ellos titulado "Evaluation of three feeding strategies on the culture of white shrimp *Penaeus vannamei* Boone 1931 in low water exchange ponds", el cual saldrá publicado en el volumen 17 de 1997 de la revista **Aquacultural Engineering**. En este artículo se discute el efecto de tres estrategias de alimentación: tablas de alimentación (FTA), charolas de alimentación (FT) y complementación de alimento natural (CNF), en el desarrollo del camarón blanco y sobre algunos parámetros de la calidad del agua.

De acuerdo a los resultados de esta investigación, la estrategia alimenticia tiene un efecto significativo en el desarrollo del camarón cultivado. Hubo diferencias entre los tratamientos en cuanto a crecimiento, producción y tasa de conversión alimenticia, mas no así en cuanto a sobrevivencia. El mejor crecimiento se obtuvo en tratamiento CNF (complementación del alimento natural), seguido por el del tratamiento FT (charolas de alimentación), y por último el FTA (tablas de alimentación). La mejor producción se obtuvo en el tratamiento CNF, la cual fúe significativamente superior a la obtenida en el tratamiento FTA, pero nó a la obtenida en el FT. La menor tasa de conversión alimenticia fue obtenida en tratamiento CNF y la más alta en el FTA. Los crecimientos, sobrevivencias, producciones y tasas de conversión alimenticias obtenidas en los tratamientos CNF y FTA son superiores a los consideradas como extraordinarios en un cultivo en Venezuela (Clifford, 1996). Respecto a los parámetros de la calidad del agua, todos ellos mostraron diferencias significativas a

través del tiempo de cultivo, y en algunos de ellos, hubo diferencias entre los tratamientos. El oxígeno disuelto en la mañana presentó los valores más bajos en las semanas finales del cultivo y sus concentraciones fueron significativamente más bajas en el tratamiento FTA que en el CNF. No hubo diferencias entre FTA y FT, ni entre FT y CNF. La materia orgánica en el sedimento presentó concentraciones más bajas al inicio del experimento, las cuales fueron incrementándose en el transcurso del mismo, como resultado de la acumulación de alimento no consumido, metabolitos y restos de organismos. Esto concuerda con las observaciones llevadas a cabo por Grave Lizarraga (1995). El tratamiento FT presentó las concentraciones más altas de materia orgánica en el sedimento. Esto sugiere que una mayor cantidad de alimento se queda sin consumir, cuando este es arrojado directamente en los estanques y cuando no se toma en cuenta la cantidad de alimento natural en los mismos. Esto apoya las afirmaciones de Cruz (1991), Salame (1993) y Jory (1995), quienes sostienen que la utilización de charolas representa un ahorro significativo en la cantidad de alimento suministrado, además de un mejoramiento de la calidad del agua. Los valores de demanda bioquímica de oxígeno y de amonio/amoniaco, fueron también superiores en el tratamiento FTA, como resultado de una mayor acumulación y subsecuente degradación de materia orgánica en el sedimento. De cualquier manera los valores de amonio/amoniaco y DBO encontrados en los “peores” tratamientos, fueron inferiores a los típicamente encontrados en descargas camaronícolas (Lin and Nash, 1996) y a los máximos permisibles en descargas acuícolas (Schwartz y Boyd, 1994), esto se atribuye al bajo recambio de agua, que permite una mayor utilización tanto de la materia orgánica como de los nutrientes.

El segundo artículo escrito fue: “Respuesta del fitoplancton, zooplancton y bentos a 3 diferentes estrategias de alimentación utilizadas en el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei* Boone, 1931 en estanques con bajo recambio”. El manuscrito está en proceso de revisión para ser publicado en la revista **Investigaciones Marinas** (UNAM-Universidad de la Habana). En ella se discute el efecto de las tres estrategias de alimentación en el comportamiento de las comunidades bióticas: fitoplancton (medido como clorofila a), zooplancton y bentos, en los estanques de cultivo de camarón blanco. De acuerdo a estos resultados, la estrategia alimenticia tiene un efecto significativo, únicamente en la abundancia del zooplancton, la cual fue más alta en los tratamientos CNF y FT, que en el tratamiento FTA. Nuevamente se encontró, al igual que en las corridas

anteriores, una variación muy amplia en la abundancia de las comunidades bióticas a través del período de cultivo. Los picos de mayor abundancia de zooplancton se registraron en las primeras semanas de la corrida y posteriormente se presentó un descenso consistente, que como en los casos anteriores no está del todo relacionado con la productividad primaria del estanque y puede ser en parte atribuible al pastoreo por parte del camarón. El bentos alcanzó su máxima abundancia en las semanas 4 a la 6 y de ahí decreció abruptamente, hasta que al final del cultivo se observaron abundancias extremadamente bajas. Este descenso fue más evidente en ciertos grupos como los poliquetos, los cuales prácticamente desaparecieron de la comunidad bentónica al final del cultivo. Esto apoya las afirmaciones de algunos autores en el sentido de que los poliquetos son de los organismos preferidos en la alimentación del camarón cultivado (Rubright, 1981; Leber and Pruder, 1988). Esto también hace evidente la necesidad de realizar investigaciones enfocadas a promover y mantener biomasas adecuadas de estos organismos a través del cultivo. En los tratamientos CNF y FTA, en los que hubo una mayor abundancia de organismos (combinando zooplancton y bentos), fue también en los que se obtuvieron los mejores crecimientos y producciones, y donde se registraron las tasas de conversión alimenticia más bajas. Esto hace evidente una vez más la importancia que el alimento natural tiene en el desarrollo del camarón cultivado.

Cuarta Fase Experimental.

La cuarta corrida experimental fue realizada diciembre de 1996 a mayo de 1997 y su objetivo fue el mismo que el de la tercera corrida, pero sobre el camarón café.

Los resultados han sido incluidos en dos artículos científicos. El primero de ellos es "Evaluation of three feeding practices on the winter culture of yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* (Holmes) in low water exchange ponds", el cual ha sido enviado para su posible publicación a la revista **Aquaculture Research**. En este artículo se discute el efecto de las tres estrategias de alimentación ya probadas en el camarón blanco, pero ahora sobre el camarón café del Pacífico. De acuerdo a los resultados obtenidos, la estrategia alimenticia tiene un efecto significativo en el desarrollo del camarón café. El tratamiento CNF (complementación del alimento natural) presentó crecimientos significativamente superiores a los obtenidos en

los otros dos. No hubo diferencias significativas respecto a la sobrevivencia. Las mejores producciones fueron obtenidas en los tratamientos CNF y FT (charolas de alimentación). La tasa de conversión alimenticia fue notablemente más alta en el tratamiento FTA (tablas de alimentación) que en los otros dos.

En esta corrida nuevamente se pone de manifiesto la factibilidad del cultivo de esta especie para condiciones de baja temperatura. Los parámetros de cultivo (crecimiento, sobrevivencia, producción y tasa de conversión alimenticia) obtenidos en el tratamiento CNF, aunque inferiores a los obtenidos en el cultivo de especies tropicales (Clifford, 1994) permiten suponer la rentabilidad de este cultivo, lo cual podría ser demostrado con un análisis económico. Este mismo análisis podría evaluar la factibilidad de utilizar la estrategia de complementar el alimento natural, considerando que en ella se requiere mayor labor que en el tratamiento mediante charolas, y las diferencias en cuanto a producción, no son muy grandes.

El segundo artículo elaborado fue: "Efecto de tres diferentes estrategias de alimentación sobre el fitoplancton, zooplancton y bentos en estanques de cultivo de camarón café *Penaeus californiensis* (Holmes 1900)". Este fue enviado para su posible publicación en la Revista de **Ciencias Marinas**. En el se discute el efecto de las tres estrategias alimenticias en el desarrollo de las comunidades bióticas en los estanques de cultivo de camarón café. Se encontró que dichas estrategias tuvieron un efecto significativo en la abundancia de zooplancton y bentos. Ambas comunidades fueron más abundantes en los tratamientos CNF y FT. Algunos organismos como los poliquetos mostraron ser más abundantes en el tratamiento FTA. Se observó también, al igual que en las corridas anteriores, que la abundancia tanto de zooplancton como de bentos tiene sus máximos valores en las semanas iniciales del cultivo y de ahí va decreciendo. En el caso del zooplancton vuelve a observarse una recuperación después de la mitad del experimento, pero el bentos decrece consistentemente hasta el final del cultivo. Esto como ya se ha mencionado no es del todo explicable por el comportamiento de la productividad primaria de los estanques (concentración de clorofila a) sino que puede ser atribuible al pastoreo del camarón. Esto se confirmó por el análisis del contenido estomacal de los camarones, en donde se observó una gran abundancia de organismos, poco tiempo después de que ellos fueron abundantes en los estanques.

CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en las cuatro corridas experimentales, se pueden obtener algunas conclusiones generales que a continuación se enlistan. Es necesario dejar en claro sin embargo, que estas conclusiones son válidas únicamente para las condiciones en que los experimentos fueron realizados o para condiciones similares.

1.- Técnicamente son factibles los cultivos de camarón blanco *Penaeus vannamei* y de camarón café *Penaeus californiensis*, en estanques de bajo recambio, si una aireación de 6 horas al día, de las 00:00 a las 06:00 A.M., es aplicada en los estanques.

2.- El crecimiento, sobrevivencia, producción y tasas de conversión alimenticia, fueron superiores para el camarón blanco que para el camarón café. Estos parámetros son comparables y en muchos casos superiores a los obtenidos en granjas comerciales exitosas.

3.- Los parámetros obtenidos para el camarón café, aunque inferiores a los del camarón blanco, permiten suponer que esta especie es una opción viable para cultivarse en regiones con temperaturas inferiores a 20°C, o para la época invernal en regiones con climas extremos.

4.- La tasa de aireación tiene un efecto significativo tanto en el desarrollo del camarón (de ambas especies), como en la abundancia de zooplancton y bentos, al igual que en algunos parámetros de la calidad del agua.

5.- Una tasa de aireación de 6 horas (de las 00:00 a las 06:00 horas) resulta suficiente para obtener parámetros de cultivo (crecimiento, sobrevivencia, producción y tasa de conversión alimenticia) iguales o superiores a los que se obtienen con 12 o 24 horas de aireación y comparables a los que se obtienen con recambios de 10% diario o más, sin aireación.

6.- La estrategia de alimentación utilizada influye significativamente, tanto en el desarrollo del camarón cultivado de ambas especies, como en el comportamiento de las comunidades bióticas y de la calidad del agua.

7.- La estrategia de dar un complemento alimenticio de acuerdo a la cantidad de alimento natural en los estanques, resultó en un mejor desarrollo del camarón de ambas especies, así como en una mejor calidad del agua.

8.- Se observó que los tratamientos en los que hubo una mayor abundancia de zooplancton y bentos, se obtuvo un mejor desarrollo de la población cultivada de ambas especies. Con esto se apoyan las afirmaciones de muchos investigadores quienes han destacado la enorme importancia del alimento natural en la nutrición del camarón cultivado.

9.- Los parámetros de la calidad del agua considerados como impactantes de los ecosistemas receptores (amonio/amoniaco, materia orgánica y demanda bioquímica de oxígeno), estuvieron en todos los casos debajo de los límites permisibles para descargas de granjas comerciales.

RECOMENDACIONES.

Dos recomendaciones importantes pueden desprenderse de los resultados de la presente investigación.

1.- Se recomienda probar el cultivo de camarón blanco y camarón café en estanques de bajo recambio a nivel comercial, a fin de validar la tecnología desde el punto de vista económico.

2.- Dada la importancia que ha demostrado tener el alimento natural en la nutrición del camarón cultivado, se recomienda conducir investigaciones enfocadas a promover y mantener biomasas adecuadas de aquellos organismos que han demostrado ser preferidos como alimento. Tal es el caso de los poliquetos y los copépodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, R.K., P.L. Parker, and A.L. Lawrence. 1987. A 13C/14C tracer study of the utilization of present feed by a commercial important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system. *Journal of the World Aquaculture Society* 18:149-155.
- Boyd, C.E. 1996. Environmental issues in shrimp farming. Pages 9-23 in *Proceeding of IV Simposium Centroamericano de Acuicultura*. World Aquaculture Society. Honduras.
- Bray, W.A., A.L. Lawrence and J.R. Leung-Trujillo. 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei* with observations in the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture* 122:137-146.
- Browdy, C.L. 1996. Shrimp farm management: Meeting the challenges. Páginas 1-14 de las Memorias del Simposium Internacional Camaronicultura 96', Mazatlan, Sinaloa, Mexico.
- Castille, F. L., And A.L. Lawrence 1989. The effect of deleting dietary constituents from pelleted feed on the growth of shrimp on the presence of natural food in ponds. *Abstracts Journal of the World Aquaculture Society* 20(1):22A.
- CICTUS. 1994. *El Cultivo del Camarón Azul Penaeus stylirostris*. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, Mexico. 126 p.
- Chen , Y.L.L. and H.Y. Chen. 1992. Juvenile *Penaeus monodon* as an effective zooplankton predator. *Aquaculture* 103:35-44.
- Clifford, H.C. 1994. El manejo de estanques camaroneros. Páginas 16-34 in *Memorias del Seminario Internacional de Camaronicultura, Camarón 94'*. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Clifford, H.C. 1994b. Semi-intensive sensation: A case of study in marine shrimp management. *World Aquaculture*, 25(3):6-12, 98-104.
- Cruz, P.S. 1991. *Shrimp Feeding Management: Principles and Practices*. Kabukiran Enterprises Inc. Davao City, Philippines. 57 pp.
- Day, J.W., C.A. Hall, W.M. Kemp and A. Yañez-Arencia. 1987. *Estuarine Ecology*. Wiley Interscience. New York. pp 157, 311.
- Figueroa, J. 1996. Es el camarón café *P. californiensis* una alternativa de producción?. *Panorama Acuícola* 1(5): 4-5.
- FAO. 1995. *Aquaculture Production Statistics*. FAO Fisheries Circular No. 815. Rome.

- Grave-Lizarraga, L. 1994. Comparación de dos métodos para la determinación de materia orgánica en los sedimentos de estanques camaronícolas fertilizados y no fertilizados. Tesis. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. 89 p.
- Hendrix, M. 1996. Los Camarones *Peneoidea* Bentónicos del Pacífico Mexicano. CONABIO-UNAM, Mexico. 35-38 pp.
- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, C.L. Browdy, and J.D. Holloway. 1996. Comparison of exchange and no-exchange water management for intensive culture of marine shrimp. *J. of Shellfish Res.*, 13:441-445.
- Hopkins, J.S. 1994. Elimination of water exchange in intensive shrimp ponds: technology for water quality management. Abstracts World Aquaculture Society Meeting. Louisiana, USA.
- Jory, D.E. 1995. Management of natural productivity in marine shrimp: semiintensive ponds. *Aquaculture Magazine* 21: 90-100.
- Jory, D.E. 1996. The technical marine shrimp farming session at WAS meeting in Bangkok Thailand. *Aquac. Magazine* 22(2):89-94.
- Lawrence, A., M. Johns & W. Griffin 1981. Shrimp Mariculture: An Overview. Texas A&M, Sea Grant Program, 9 pp.
- Lawrence, A., M. Johns & W. Griffin. 1983. Shrimp Mariculture: The State of the Art. Texas A&M, Sea Grant Program, 12 pp.
- Leber, K.M., G.W. Dominy, and G.D. Pruder. 1988. Shrimp feeding responses to food web manipulation in experimental growout ponds. Proceedings World Aquacult. Soc. Meeting, Honolulu Hawaii.
- Lee, D.O'C., and J.F. Wickins. 1992. Crustacean Farming. Halsted Press, Wiley, New York. 392 p.
- Lin, C.K. and G.L. Nash. 1996. Asian Shrimp News Collect Volume, 1989-1995. Asian Shrimp Culture Council, Bangkok, Thailand.
- Magallón Barajas, F. 1994. *Penaeus californiensis* as a cold tolerant species in Baja California Sur, Mexico. Book of Abstracts World Aquaculture Society Meeting: Aquaculture 94'. New Orleans. No. 1184.
- Martinez-Cordova, L., H. Villarreal-Colmenares, and M. Porchas-Cornejo. 1995. Culture of white shrimp *Penaeus vannamei* in reduced water exchange ponds in Sonora, Mexico. *World Aquaculture* 26(4):47-48.
- Martinez-Cordova, L., H. Villarreal-Colmenares, M. Porchas-Cornejo, J. Naranjo-Paramo, and A. Aragon-Noriega. 1996.

- Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. *Aquacultural Engineering* 16:85-90.
- Porchas Cornejo, M. 1994. Direct and indirect effect of the macroalgae *Caulerpa sertularioides* in the growth and survival of brown shrimp *P. californiensis* reared at reduced temperatures. Book of Abstracts Aquaculture 95'. Los Angeles CA. USA. Enero, 1995. Abstract 502.
- Rosenberry, B. (editor). 1995. *Shrimp News International*. San Diego CA. USA.
- Rubright, J.S.; J.L. Harrel, H.W. Holcomb, and J.C. Parker. 1981. Response of planktonic and benthic communities to fertilizer and feed applications in shrimp mariculture ponds. *J. World Maricul. Soc.* 12(1):281-299.
- Salame, M. 1993. Feeding trays in penaeid shrimp ponds. *Aquac. Magazine* 19(4):59-63.
- Sandifer, P.A. and J.S. Hopkins. 1996. Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. *Aquacultural Engineering* 15(1):41-52.
- Schwartz, M.F. and C.E. Boyd. 1994. Channel catfish pond effluents. *The Progressive Fish Culturist* 56:273-281.
- Teichert-Codington D. 1994. La calidad del agua y su manejo en estanques de camaron. *Memorias del Simposium Internacional de Camaronicultura; Camarón 94*, Mazatlan, Mexico.
- Tseng, W. 1988 *Shrimp Mariculture: A Practical Manual*. Canaan Intl. Pty Ltd. Australia. 290 p.
- White, D. 1986. Biological principles of pond culture: Sediment and benthos. Pages 15-19 In: E. Lannan, R. Oneal and G. Tchobanoglous (eds.) *Principles and Practices of Pond Aquaculture*. Oregon State University Press. Corvalli, Oregon USA.
- Yufero, M., A. Rodriguez and L.M. Lubian. 1984. Zooplankton ingestion and feeding behavior of *Penaeus kerathurus* larvae reared in the laboratory. *Aquaculture* 42:217-224.
- Usha Rani, G., T. Chandra Redi, & K. Ravindranath 1993. Economic of brackishwater prawn farming in Nellore District of Andhra Pradesh State, India. *J. of Aquac. Trop.*, 8(2), 221-230.
- Zendejas-Hernandez, J. (1994). La camaronicultura en Mexico. Pag. 1-12 En: . pp *Memorias del Seminario Internacional de Camaronicultura, Camarón 94*. Mazatlan, Mexico.