



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



OPTIMIZACION DEL CULTIVO DE LA
LANGOSTA DE AGUA DULCE *Cherax*
quadricarinatus, MEDIANTE EL AJUSTE DE LOS
NIVELES DE RECAMBIO DE AGUA, AIREACION
Y ALIMENTACION

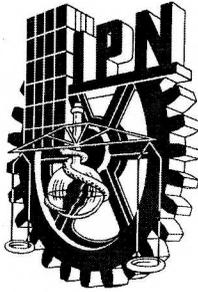
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
MARINAS

PRESENTA

JOSE NARANJO PARAMO

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 18 del mes Septiembre del año 2009, el (la) que suscribe MC. JOSÉ NARANJO PÁRAMO alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro A010122 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo al dirección de: DR. HUMBERTO VILLARREAL COLMENARES Y DRA. SILVIE DUMAS y cede los derechos del trabajo titulado: "OPTIMIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA LANGOSTA DE AGUA DULCE *Cherax quadricarinatus*, MEDIANTE EL AJUSTE DE LOS NIVELES DE RECAMBIO DE AGUA, AIREACIÓN Y ALIMENTACIÓN" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jnaranjo04@cibnor.mx humberto04@cibnor.mx sdumas@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

José Naranjo P.
MC. JOSÉ NARANJO PÁRAMO
nombre y firma

Indice

	Pag.
1 Introducción	1
1.1 Distribución natural de la langosta de agua dulce <i>C. quadricarinatus</i>	3
1.2 Clasificación taxonómica.....	4
1.3 Características de la especie.....	4
2 Antecedentes	6
2.1 Producción acuícola.....	6
2.2 Tecnología de cultivo.....	8
2.2.1 Sistema de cultivo extensivo.....	8
2.2.2 Sistema de cultivo semi-intensivo.....	9
2.2.3 Sistemas de cultivo intensivo.....	9
2.3 Optimización en acuicultura.....	10
2.3.1 Reducción de recambio de agua.....	11
2.3.2 Manejo de la aireación suplementaria.....	12
2.3.3 Manejo de la alimentación.....	12
2.4 Avances científicos del cultivo y engorda con <i>C. quadricarinatus</i>	13
2.5 Investigación desarrollada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) con <i>C. quadricarinatus</i>	15
3 Justificación	17
4 Hipótesis	18
5 Objetivo general	19
5.1 Objetivos específicos.....	19
6 Metodología	20
6.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de <i>C.</i> <i>quadricarinatus</i>	20
6.1.1 Unidades experimentales.....	20
6.1.2 Organismos experimentales.....	21
6.1.3 Manejo de las unidades experimentales.....	23
6.1.4 Tratamientos experimentales.....	25

	Pag.
6.1.5 Análisis de información.....	26
6.2 Efecto del nivel de aireación en preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> , en cultivo monosexual.....	27
6.2.1 Unidades experimentales.....	27
6.2.2 Organismos experimentales.....	27
6.2.3 Manejo de las unidades experimentales.....	28
6.2.4 Tratamientos experimentales.....	28
6.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i>	28
6.3.1 Unidades experimentales.....	28
6.3.2 Organismos experimentales.....	30
6.3.3 Manejo de las unidades experimentales.....	30
6.3.4 Alimentación.....	31
6.3.5 Tratamientos experimentales.....	32
6.4 Efecto de diferentes estrategias de alimentación en juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	32
6.4.1 Unidades experimentales.....	32
6.4.2 Organismos experimentales.....	33
6.4.3 Manejo de las unidades experimentales.....	33
6.4.4 Tratamientos experimentales.....	33
6.4.5 Mediciones de clorofila <i>a</i> y <i>b</i>	34
6.4.6 Determinación de la estabilidad del alimento en el agua (lixiviación)	34
6.4.7 Análisis químicos proximales.....	35
6.5 Análisis económico.....	36
6.5.1 Impacto del recambio de agua, la aireación y el alimento en el costo de producción.....	36
7. Resultados	40
7.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	40

	Pag.
7.1.1 Calidad del agua en el cultivo de juveniles de langosta de agua dulce <i>C. quadricarinatus</i> con diferentes niveles de recambio de agua.....	40
7.1.2 Respuesta productiva de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> a diferentes niveles de recambio de agua.....	42
7.2 Efecto del nivel de aireación en preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> , en cultivo monosexual.....	47
7.2.1 Calidad del agua en el cultivo monosexual de preadultos de langosta de agua dulce <i>C. quadricarinatus</i> con diferentes niveles de aireación.....	47
7.2.2 Respuesta productiva de preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> a diferentes niveles de aireación en cultivo monosexual.	49
7.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i>	52
7.3.1 Calidad del agua en el cultivo de juveniles de langosta de agua dulce <i>C. quadricarinatus</i> con diferentes niveles de aireación.....	52
7.3.2 Respuesta productiva de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> a diferentes niveles de aireación.....	54
7.4 Efecto de dos diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	58
7.4.1 Estabilidad, humedad y análisis químicos del alimento comercial utilizado.	58
7.4.2 Calidad de agua en el cultivo de <i>C. quadricarinatus</i> con dos estrategias de alimentación.....	60
7.4.3 Niveles de clorofila <i>a</i> y <i>b</i> en estanques de cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , donde se evaluaron dos estrategias de alimentación.....	62
7.4.4 Respuesta productiva de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	64
7.4.5 Análisis químicos proximales.....	66
7.4.5.1 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en músculo.....	66
7.4.5.2 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en tracto digestivo.....	68

	Pag.
7.4.5.3 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en hepatopáncreas.....	70
7.5 Análisis económico de costos seleccionados.....	72
7.5.1 Impacto del recambio de agua, la aireación y el alimento en el costo de producción.....	72
8. Discusión.....	80
8.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	80
8.1.1 Calidad del agua.....	80
8.1.2 Respuesta productiva.....	82
8.2 Efecto del nivel de aireación en preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> , en cultivo monosexual.....	84
8.2.1. Calidad de agua.....	84
8.2.2 Respuesta productiva de preadultos en cultivo monosexual.....	85
8.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i>	87
8.3.1 Calidad del agua.....	87
8.3.2 Respuesta productiva.....	88
8.4 Efecto de dos diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	92
8.4.1 Calidad de agua.....	92
8.4.2 Respuesta productiva de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> para dos estrategias de alimentación.....	93
8.4.3 Análisis químicos.....	95
8.5 Análisis económico	97
9 Conclusiones.....	99
10 Literatura citada.....	102
11 Anexo I. Base de cálculo de costos de inversión y operación, para granja de 10 ha, para el cultivo de <i>Cherax quadricarinatus</i>, con SPNO y SPO.....	122

Glosario

Engorda monosexual: cultivo de machos y hembras separadamente. Se utilizan organismos provenientes de la fase de precría (20-25 g), hasta alcanzar la talla comercial.

FCA: valor resultante de la razón de el alimento suministrado (g)/incremento en biomasa (g).

Flujo de caja: El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa

PRC: Es el periodo que tarda una empresa en recuperar la inversión de un proyecto. Se obtiene contando el número de periodos que toma igualar los flujos de caja acumulados con la inversión inicial, si el PRC es menor al que el máximo periodo definido por la empresa, para recuperar la inversión, entonces se acepta el proyecto.

Preadultos: en este caso organismos de *C. quadricarinatus* al término de la fase de precría, con un peso de 20-25 g.

Precría: fase donde se siembran juveniles de 2-3 g de peso inicial y se cultivan por un periodo de 80 días hasta alcanzar 20-25 g de peso.

Redclaw: significa quela roja, debido a que en la quela los machos presentan una membrana de color rojo y de ahí deriva el nombre común de *Cherax quadricarinatus*.

TIR: La tasa interna de retorno de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero. El VAN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Ups: significa unidades prácticas de salinidad y son unidades de medición de la salinidad en el agua, son equivalentes a partes por mil (g L^{-1} de sal).

VAN: permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1. Valores promedio (\pm desviación estándar) de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, registrados durante el cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> con diferentes niveles de recambio de agua.....	41
Tabla 2. Promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros de producción de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de recambio de agua.....	46
Tabla 3. Valores promedio (\pm desviación estándar) de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, durante el cultivo monosexual de preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> , con diferentes niveles de aireación..	48
Tabla 4. Promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros de producción de preadultos de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de aireación, después de 70 días de cultivo monosexual.....	51
Tabla 5. Valores promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, en el cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , con diferentes niveles de aireación.....	53
Tabla 6. Promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros de producción de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de aireación.....	57
Tabla 7. Lixiviación de proteínas, carbohidratos y lípidos totales (\pm desviación estándar), del alimento comercial después de 6 y 24 horas de inmersión en agua destilada.....	59
Tabla 8. Valores promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, en estanques de cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> después de 75 días de cultivo, evaluando 2 estrategias de alimentación.....	61

	Pag.
Tabla 9. Promedios (\pm desviación estándar) de los parámetros de producción de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> cultivado con diferentes estrategias de alimentación.....	65
Tabla 10. Parámetros tecnológicos para el cultivo de <i>C. quadricarinatus</i> , con SPNO y SPO.....	72
Tabla 11. Costos de inversión y operación anual para el cultivo de <i>C. quadricarinatus</i> , con SPNO y SPO para un tamaño de granja de 10 ha.....	74
Tabla 12. Flujo de caja para un periodo de 10 años para el análisis económico del proyecto y para el cálculo de la TIR, utilizando el SPNO.....	76
Tabla 13. Flujo de caja para un periodo de 10 años para el análisis económico del proyecto y para el cálculo de la TIR, utilizando el SPO.....	77
Tabla 14. Parámetros productivos y económicos, utilizados en el análisis económico e indicadores financieros resultantes de dicho análisis, para el cultivo de <i>C. quadricarinatus</i> en una granja de 10 ha (con 5 ha de engorda). En los esquemas de SPNO y SPO.....	78

Lista de Figuras

	Pag.
Figura 1. Distribución natural de <i>Cherax quadricarinatus</i> en Australia. El redclaw (<i>Cherax quadricarinatus</i>) (rojo) se encuentra en la zona trópic al en el norte y fue transferido al centro-este del Estado de Queensland, en el área cercana a Brisbane, para evaluar el potencial de cultivo en 1984.....	3
Figura 2. Unidades experimentales utilizadas para la evaluación del efecto de diferentes niveles de recambio de agua en juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	20
Figura 3. Escondrijos utilizados como protección para juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , durante la evaluación del efecto de diferentes niveles de recambio de agua.....	21
Figura 4. Hembra y macho de <i>Cherax quadricarinatus</i> , mostrando las características sexuales más distintivas. Macho: Parche rojo en la quela; Hembra: Caparazón extendido lateralmente, para proporcionar una mejor estructura de recepción en la formación de la cápsula protectora durante la reproducción.....	22
Figura 5. Cosecha de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , de los moños de malla nylon en un estanque de 1000 m ² recubierto de plástico.....	22
Figura 6. Juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> seleccionados por peso, aspecto exterior y estadio de muda.	23
Figura 7. Equipo HACH/Drell 2000 utilizado para la medición y registro de parámetros fisicoquímicos del agua en las unidades experimentales.....	24
Figura 8. Balanza digital utilizada para el registro de incremento de peso en juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de recambio de agua.....	25
Figura 9. Estanques de 100 m ² con cubierta de plástico en el CIBNOR.....	29

	Pag.
Figura 10. Distribución homogénea de moños de malla de nylon y de bloques de cemento en los estanques de 100 m ² con fondo de plástico.....	30
Figura 11. Estanque con aireación por la parte central del fondo del estanque. El nivel de aireación se controló con una válvula de cierre rápido.....	31
Figura 12. Costos de operación anual (%) para una granja de 10 ha para la producción de langosta de agua dulce (<i>C. quadricarinatus</i>) (modificado de Villarreal y Peláez, 1999).....	37
Figura 13. Incremento en peso a través del tiempo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de recambio de agua/día.....	42
Figura 14. Peso promedio final (\pm desviación estándar) de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , obtenido después del cultivo por 60 días con diferentes niveles de recambio de agua.....	43
Figura 15. Supervivencia promedio final (\pm desviación estándar) obtenida a diferentes niveles de recambio de agua durante el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i>	43
Figura 16. Biomasa promedio final (\pm desviación estándar) obtenida a diferentes niveles de recambio de agua durante el cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> por 60 días.....	44
Figura 17. Crecimiento de preadultos (a) hembras y (b) machos de <i>C. quadricarinatus</i> cultivados con diferentes niveles de aireación.....	50
Figura 18. Incremento en peso a través del tiempo durante el cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> con diferentes niveles de aireación.....	54
Figura 19. Peso promedio final (\pm desviación estándar) obtenido a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> por 84 días.....	55

	Pag.
Figura 20. Supervivencia promedio final (\pm desviación estándar) obtenida a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> por 84 días.....	55
Figura 21. Biomasa promedio final (\pm desviación estándar) obtenida a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> por 84 días.....	56
Figura 22. Temperatura promedio del agua (\pm desviación estándar) durante .75 días de cultivo de <i>C. quadricarinatus</i> en estanques donde se evaluaron dos estrategias de alimentación.....	62
Figura 23. Niveles de Clorofila a y b (\pm error estándar) durante el cultivo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	63
Figura 24.- Incremento en peso a través del tiempo durante el desarrollo de juveniles de <i>C. quadricarinatus</i> , alimentados con estrategias diferentes de alimentación (1 vez/día, 4 veces/día).....	64
Figura 25. Concentración de proteínas (\pm error estándar) en músculo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	66
Figura 26. Concentración de lípidos (\pm error estándar) en músculo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	67
Figura 27- Concentración de carbohidratos (\pm error estándar) en músculo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	67
Figura 28. Concentración de proteínas (\pm error estándar) en tracto digestivo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación...	68
Figura 29. Concentración de lípidos (\pm error estándar) en tracto digestivo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	69
Figura 30. Concentración de carbohidratos (\pm error estándar) en tracto digestivo de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	69

	Pag.
Figura 31. Concentración de proteínas (\pm error estándar) en hepatopáncreas de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación...	70
Figura 32. Concentraciones de lípidos (\pm error estándar) en hepatopáncreas de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación...	71
Figura 33. Concentración de carbohidratos (\pm error estándar) en hepatopáncreas de <i>C. quadricarinatus</i> con estrategias diferentes de alimentación.....	71

Resumen

El cultivo de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* ha generado gran interés en los últimos años. En México, los productores acuícolas y agrícolas se interesan en su cultivo debido a sus características biológicas y a la necesidad de considerar especies alternativas para la acuicultura. Una de las limitantes importantes para el éxito comercial de *C. quadricarinatus* ha sido el desconocimiento del manejo de las principales variables en manejo del cultivo.

Se realizaron cuatro evaluaciones experimentales para medir el efecto que tiene el nivel de recambio de agua, aireación y estrategia de alimentación en el cultivo de *Cherax quadricarinatus*, desde los puntos de vista biológico y económico, ya que estas variables productivas llegan a representar hasta el 50% de los costos de producción en el cultivo de la especie.

A fin de evaluar el potencial para mejorar la producción, se realizaron evaluaciones experimentales que permitieran pasar de un sistema de producción “no optimizado” (SPNO) a un sistema de producción “optimizado” (SPO).

Se evaluaron por triplicado 4 niveles de recambio de agua: 0, 2.5, 5 y 7.5 % día⁻¹ en tanques plásticos de 1.7 m de diámetro y un área de 2.26 m², por un periodo de 60 días. Se utilizaron juveniles de 3 ± 0.2 g, a una densidad de 15 juveniles m⁻². El peso y la sobrevivencia final de juveniles de *C. quadricarinatus* no mostró diferencias significativas (P>0.05) entre los tratamientos. La calidad del agua se mantuvo dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie, y los factores de conversión alimenticia fueron similares entre los tratamientos. De lo anterior se concluye que es factible mantener los niveles adecuados de producción en el cultivo de *C. quadricarinatus*, sin recambio de agua, en condiciones de laboratorio.

Tres niveles de aireación durante 70 días por triplicado fueron evaluados para el cultivo de preadultos de *C. quadricarinatus* en cultivo monosexual: 0, 6 y 12 horas por día de aireación, en tanques plásticos de 1.7 m de diámetro y 2.26 m² de área, a una densidad de 8 organismos m⁻². Se utilizaron organismos de 11.2 ± 0.5 g. El peso final más alto se presentó en machos y hembras en los tanques recibiendo 12 horas día⁻¹ de aireación, mientras que la sobrevivencia no fue diferente entre tratamientos. Los machos crecieron 6.3% más que las hembras. Se recomienda el uso de 12 horas de aireación día⁻¹ para el cultivo monosexual de *C. quadricarinatus* en condiciones de laboratorio.

Con la información anterior se diseñó un experimento en condiciones de cultivo a cielo abierto. Cuatro niveles de aireación (0, 6, 12 y 24 hr día⁻¹) fueron evaluados por triplicado en estanques de 100 m² con recubrimiento plástico por 87 días. Se sembraron juveniles de 3.5 ± 0.5 g, a una densidad de 15 juveniles m⁻². La sobrevivencia no fue diferente entre los tratamientos. El peso promedio y la biomasa mayores se presentaron con 12 horas de aireación día⁻¹, pero estos no fueron significativamente diferentes (P>0.05) de los obtenidos en estanques con 24 horas día⁻¹ de aireación. Se concluye que es posible maximizar la producción de *C.*

quadricarinatus en estanques con recubierta de plástico sin recambio de agua, manteniendo, aireación por un periodo de al menos 12 horas día⁻¹, a partir de las 20:00 horas. El análisis económico muestra que con esta estrategia es posible reducir en 50% los costos por concepto de energía eléctrica requerida para la aireación suplementaria. Desde el punto de vista de tasa interna de rendimiento (TIR), esto genera una mejora de 3 %.

Se evaluaron dos frecuencias de alimentación (1 y 4 veces por día) por duplicado en estanques de 100 m² por 75 días a cielo abierto. Se sembraron juveniles de 2.5 ± 0.5 g, a una densidad de 15 m⁻². Los datos de productividad natural y de calidad del agua no fueron diferentes entre tratamientos. El peso y biomasa promedio finales fueron más altos cuando se alimentó con una frecuencia de 4 veces al día. La sobrevivencia no se vió afectada por los tratamientos, y el FCA fue significativamente, más bajo con 4 alimentaciones día⁻¹, lo cual representa menor costo de alimento. Los resultados indican que el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus*, en estanques de escala piloto comercial con recubierta de plástico, y con presencia de productividad natural, se beneficia con la estrategia de alimentación de 4 veces al día. Esto es consecuencia de la disponibilidad de alimento de mejor calidad para el organismo.

El análisis económico muestra que la aplicación de los valores optimizados de recambio de agua, aireación y frecuencia alimenticia, que mejoran la eficiencia productiva, también incrementan la rentabilidad de la operación, mejorando las perspectivas de éxito comercial del cultivo de *C. quadricarinatus*. En el presente estudio se obtuvo un incremento de 16% en la TIR, y 49% en el VAN, mientras que el PRC se reduce de 5 a 3 años cuando se utiliza el sistema de producción optimizado.

Los resultados del presente trabajo contribuirán a la consolidación del cultivo de *C. quadricarinatus* en México, implementando una tecnología de cultivo más rentable, altamente eficiente, biosegura y ambientalmente amigable para la especie.

Abstract

Farming Red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, has generated great interest in the last years. In Mexico, aquaculture and agriculture producers are interested in its culture due to its biological characteristics and the need of considering alternative species for aquaculture. One of the important limitations for successful marketing of *C. quadricarinatus* has been that the main variables of culture management are yet unknown.

We performed four experimental assessments to evaluate the effect that the level of water refill, aeration, and feeding strategy have in the culture of *Cherax quadricarinatus* from biological and economic view points, because these productive variables represent up to 50% of the production costs in the species culture.

In order to evaluate the potential production improvement, we performed experimental assessments that would allow going from a “non-optimized” production system (SPNO) [acronym in Spanish] to an “optimized” production system (SPO).

Four levels of water refill: 0, 2.5, 5 and 7.5 % day⁻¹, in plastic tanks of 1.7 m in diameter and an area of 2.26 m², for a period of 60 days were assessed in triplicate. Juveniles of 3 ± 0.2 g, at a density of 15 juveniles m⁻² were used. Final weight and survival of *C. quadricarinatus* juveniles did not show any significant differences (P>0.05) among treatments. Water quality was maintained within the recommended intervals for the species culture, and the feeding conversion factors were similar among treatments. From these results we conclude that it is feasible to maintain adequate production levels in the culture of *C. quadricarinatus* without water refill, in laboratory conditions.

Three aeration levels during 70 days in triplicate were assessed for the culture of *C. quadricarinatus* preadults in monosexual culture: 0, 6 and 12 hr day⁻¹ of aeration, in plastic tanks of 1.7 m in diameter and an area of 2.26 m², at a density of 8 organisms m⁻². Organisms of 11.2 ± (0.5) g were used. The highest final weight was in males and females in tanks receiving 12 hr day⁻¹ of aeration, while survival was not different among treatments. Males grew 6.3% more than females. We recommend the use of 12 aeration hrs day⁻¹ for monosexual culture of *C. quadricarinatus* in laboratory conditions.

With the previous information, we designed an experiment in outdoor culture conditions. Four aeration levels (0, 6, 12 and 24 hr day⁻¹) were assessed in triplicate in plastic covered ponds of 100 m² for 87 days. Juveniles of 3.5 ± 0.5 g were sowed at a density of 15 juveniles m⁻². Survival was not different among treatments. The highest average weight and biomass was obtained with 12 aeration hr day⁻¹, but they were not significantly different (P>0.05) from that obtained in ponds with 24 hr day⁻¹ aeration. We conclude that it is possible to maximize *C. quadricarinatus* production in plastic covered ponds without water refill, maintaining aeration in a period of at least 12 hours day⁻¹, starting from 20:00 hours. The economic analysis shows that with this strategy it is possible to reduce the electricity costs required for supplementary aeration to 50%. From the view point of internal yield rate (TIR) [acronym in Spanish], it generates and improvement of 3 %.

Two feeding frequencies were assessed (1 and 4 times day⁻¹) in duplicate in tanks of 100 m² for 75 days outdoors. Juveniles of 2.5 ± 0.5 g were sowed at a density of 15 m⁻². The natural production data and water quality were not different among treatments. Average weight and biomass were higher when feeding was done with a frequency of 4 times a day. Survival was not affected by treatments, and the feeding conversion factor FCA [acronym in Spanish] was significantly lower with 4 feedings day⁻¹, which represents less feeding cost. The results show that the strategy of feeding 4 times a day benefits the culture of *C. quadricarinatus* juveniles, in commercial pilot-scale ponds covered with plastic, and with the presence of natural production. This is a consequence of the availability of the best quality food for the organism.

The economic analysis shows that the application of the optimized values of water refill, aeration, and feeding frequency that improve production efficiency, also increase operation profitability, which improves the perspective of successful commercial farming of *C. quadricarinatus*. In this study we obtained an increase of 16% of TIR, and 49% in net current value (VAN) [acronym in Spanish], while the capital recovery period (PRC) [acronym in Spanish] was reduced from 5 to 3 years when using the optimized production system.

The results of this work will contribute to strengthen the culture of *C. quadricarinatus* in México by implementing a culture technology that is highly efficient, more profitable, biosafe, and environmentally friendly for the species.

1. Introducción

La acuicultura es una actividad en crecimiento a nivel mundial, consolidándose cada vez más como una alternativa para abastecer organismos acuáticos como alimento para la población mundial; a su vez, es una actividad generadora de empleos e ingresos (Arce, 1989). El éxito de la industria acuícola se basa en la selección de especies con características apropiadas para su cultivo y utilización comercial. El cultivo de langostas de agua dulce del género *Cherax* ha generado gran interés durante los últimos quince años debido a su talla y a la aceptación por parte del consumidor. Existen tres especies australianas de interés comercial: el marron (*Cherax tenuimanus*) (Villarreal, 1988; Morrissy, 1989); el yabbie (*C. destructor*) (Mills y McCloud, 1983); y el redclaw ó langosta de quelas rojas (*C. quadricarinatus*), que tiene las mejores perspectivas de desarrollo, ya que es capaz de alcanzar 70-100 g en 6-8 meses de cultivo en condiciones tropicales (Villarreal y Peláez, 1999; Naranjo *et al.*, 2004) y su producción es económicamente atractiva.

C. quadricarinatus es nativo del noroeste de Australia (Jones y Curtis, 1994). El cultivo de esta especie se inició a mediados de los 80's (Jones, 1990a; Jones y Ruscoe, 1996). La especie ha sido trasplantada a otros países con buenos resultados (Hutchings y Villarreal, 1996; Romero, 1997, 1998; Villarreal y Peláez, 1999; Villarreal, 2000). Su precio en el mercado internacional varía de \$ 9-15 USD kg⁻¹ (Pinto y Rouse, 1996; Love y Langenkamp, 2003; Nabor Medina, Megar, S.A. com. Pers. 2005).

Existen reportes de la introducción de *C. quadricarinatus* a E.U.A., las Bahamas, Belice, Gran Bretaña, China, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Fiji, Guatemala, Israel, Jamaica, México, Sudáfrica, Argentina, Chile, Colombia, Panamá, Egipto, Zambia, Sudáfrica, Nueva Zelandia y Taiwan (Medley *et al.*, 1994, Romero, 1997, 1998; Villarreal *et al.*, 1999; Villarreal, 2000; Holdich, 2002; Love y Langenkamp, 2003).

El cultivo de esta especie en México ha recibido gran atención entre los productores acuícolas y agrícolas. La especie fue introducida a nuestro país a principios de los 90's por la Dirección de Acuicultura de la Secretaría de Pesca, y a la fecha varias empresas evalúan su cultivo. Existen cultivos comerciales en los estados de Tamaulipas, Sinaloa, Baja California Sur, Veracruz y Colima. Los resultados han sido alentadores, con rendimientos de 2,200 a 2,500 kg ha⁻¹ en ciclos de 9 meses, en granjas comerciales del estado de Tamaulipas (Villarreal y Peláez, 1999) y precios por kilo de producto vivo de \$ 100-150 kg⁻¹, dependiendo de la talla (N. Medina, Megar, S.A. com. pers. 2005).

La alimentación, aireación y bombeo para recambio de agua son tres de las variables más importantes en los costos de operación para cultivo semi-intensivo e intensivo de especies acuáticas, llegando a alcanzar más del 60% de los costos variables en un cultivo (Cruz, 1991; Usha-Rani *et al.*, 1993; Zendejas-Hernández, 1994; Martínez *et al.*, 1995; 1997; 1998 a,b; Villarreal *et al.*, 1999; Boyd y Clay, 2002). Por otro lado, la sustentabilidad ambiental de la acuicultura ha tenido una atención considerable en los últimos años, debido a que descargas de efluentes de sistemas semi-intensivos e intensivos de cultivo, ricos en nutrientes, pueden contribuir a la eutrofización de aguas receptoras y, potencialmente, impactar la biota natural y las operaciones de cultivo locales (Gowen y Bradbury, 1987; Sandifer y Hopkins, 1996; Goldberg y Triplet, 1997; Naylor *et al.*, 1998, 2000; Browdy *et al.*, 2001). Un adecuado manejo de las tasas de recambio de agua, aireación y alimentación puede mejorar la factibilidad económica y la sustentabilidad del cultivo.

El presente trabajo pretende contribuir a la optimización productiva y económica, y al desarrollo de estrategias sustentables ambientalmente para el cultivo de *C. quadricarinatus*. Para ello se busca reducir el recambio de agua, optimizar el uso de la aireación suplementaria en el cultivo e implementar una estrategia de alimentación que minimice los desechos en el agua de descarga. Lo anterior permitirá la implementación de tecnologías de cultivo bioseguras, ecológicamente amigables y económicamente atractivas.

1.1 Distribución natural de la langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*.

La langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* se distribuye en la región tropical del noreste de Australia (Jones & Ruscoe 1996; Jones & Ruscoe 2000) (Figura 1). Se ubica en los Estados de Queensland y Territorio del Norte, cercanos a la parte del Golfo de Carpentaria y al Cabo York, en las costas al oeste del Golfo de Darwin, también se considera nativa en el Sureste de Nueva Guinea (Jones, 1990a).

Son organismos bentónicos que, naturalmente, habitan en ríos interiores, cuerpos de agua como lagos, presas y en corrientes de zonas costeras bajas.



Figura 1. Distribución natural de *Cherax quadricarinatus* en Australia. El redclaw (*Cherax quadricarinatus*) se encuentra en la zona trópic en el norte y fue transferido al centro-este del Estado de Queensland, en el área cercana a Brisbane, para evaluar el potencial de cultivo en 1984 (Villarreal, com. pers.).

1.2 Clasificación taxonómica.

De acuerdo a Hobbs (1989) su clasificación taxonómica es,

Reino	Animal
Phyllum	Artrópoda
Subphyllum	Crustácea
Clase	Malascotraca
Superorden	Eucárida
Orden	Decápoda
Suborden	Macrura Reptantia (Bouvier, 1917)
Infraorden	Astacidea (Latreille, 1802)
Superfamilia	Parastacidea (Huxley, 1878)
Familia	Parastacidae (Huxley, 1878)
Género	<i>Cherax</i> (Erichson, 1846)
Especie	<i>quadricarinatus</i> (Von Martens, 1868)

La mayor diversidad de la familia Parastacidae está en Australia, con 9 de los 14 géneros identificados (Williams, 1980; Huner, 1994; Crandall *et al.*, 1999). Los Parastacidos australianos se encuentran representados por tres géneros; *Cherax* (Erichson, 1846), *Engaeus* (Erichson, 1846) y *Euastacus* (Clark, 1936; Austin, 1995). Dentro del género *Cherax*, 43 especies han sido descritas por Crandall *et al.* (1999).

1.3 Características de la especie

C. quadricarinatus se considera un buen prospecto para acuicultura comercial por los atributos que presenta. La especie es robusta fisiológicamente, tiene un ciclo reproductivo simple, sin estadios larvales libres y alcanza la madurez sexual entre seis y nueve meses. Puede pesar entre 50-100 g al final del primer año, y alcanzar 600 g de peso entre los cuatro y cinco años (Villarreal y Peláez, 1999).

La especie es tolerante a variaciones de parámetros ambientales; es capaz de mantener más de 80% de su tasa máxima de crecimiento entre 23 y 31°C (King, 1994; Jones, 1999), con un óptimo de 27°C (Jones, 1989), y se reproduce en temperaturas superiores a 23°C (Yeh y Rouse, 1995). Su cultivo requiere agua con niveles de dureza superiores a 150 mg L⁻¹ de CaCO₃, pH entre 7 y 8.5, y una saturación de oxígeno superior a 4 mg L⁻¹ (Villarreal, 2000). Por otro lado, es capaz de tolerar aguas salobres sin afectar su crecimiento (Jones, 1990a; Villarreal y Peláez, 1999). Esta capacidad adaptativa la hace un candidato ideal para su cultivo en diversas regiones en México, representando una alternativa para la diversificación de la base productiva.

2. Antecedentes

2.1 Producción acuícola

La acuicultura ha resultado ser por más de una década la actividad de producción alimenticia con mayor tasa de crecimiento (10-15% año⁻¹) en el mundo, con una variedad de especies cultivadas (206 especies de origen animal y vegetal (Tacon y Forster, 2000). A este ritmo de crecimiento se considera que rebasará la producción de carne, que es generada principalmente en las naciones industrializadas, para el año 2010 (Tidwell y Allan, 2001; FAO, 2002; Anamarija y Hershner, 2003). De acuerdo a FAO (2002), la producción total de acuicultura fue de 26.7 millones de toneladas para 1996, y en 2001 incrementó a 37.5 millones de toneladas. Este rápido crecimiento se ha dado por efectos combinados en el incremento de la población mundial, el decremento en la captura de las pesquerías (Coddy y Griffiths, 1995) y el cambio en las preferencias de consumo en países desarrollados (Lem y Shehadeh, 1997; Tacon, 1997).

Estados Unidos, es el principal mercado a nivel mundial, ya que importa anualmente más de 11 mil millones de dólares en productos marinos. El consumo de mariscos a nivel mundial se ha incrementado de 40 millones de toneladas en 1970, a 86 millones en 1998 (FAO, 2000) y se espera que alcance 110 millones de toneladas en el 2010, siendo el incremento en la población mundial el responsable primario de esta demanda. De acuerdo a una estimación de FAO (2000), se espera que para el 2030, la mitad de mariscos consumidos por la población mundial provendrán de la acuicultura.

Las exportaciones de peces y mariscos (provenientes de la pesca y acuicultura) a nivel mundial representan alrededor de 51 mil millones de dólares por año. Asia es la región con mayor volumen de producción acuícola (39 millones de toneladas, \$44 mil millones de dólares), siendo China el principal productor, con 90% del total. Por otro lado, los principales productores de Sudamérica (Chile, Ecuador, Brasil y Colombia),

continúan realizando esfuerzos de diversificación de la industria acuícola, a fin de evitar depender de una sola especie (FAO, 2000).

A nivel mundial, las principales especies de cultivo son diferentes especies de carpa, tilapia, macroalgas y moluscos. El camarón constituye 19% del valor total de comercialización, mientras que el salmón representa el 9% (Tidwell y Allan, 2001).

En México, la acuicultura se ha desarrollado significativamente en los últimos años. Sin embargo, su desarrollo se ha limitado principalmente al uso de 2 especies marinas: el ostión y el camarón peneido. La diversificación de especies en la acuicultura es importante, por ello, el cultivo de nuevas especies como moluscos, peces marinos y especies dulceacuícolas es deseable (Villarreal, 2000). El éxito de una industria acuícola se basa en la selección de especies con características apropiadas para su cultivo y utilización comercial, por lo que es necesario tomar en consideración especies que reúnan características óptimas para su cultivo, tales como: altas tasas de crecimiento, resistencia al manejo y a enfermedades, buena conversión alimenticia, fácil reproducción, requerimientos nutricionales simples (Meade y Watts, 1995a, 1995b; Jones y Ruscoe, 1996; Villarreal *et al.*, 1999) y hábitos alimenticios omnívoros (Martínez-Córdova, 1998a), entre otros.

A la fecha numerosos proyectos de investigación tendientes a desarrollar técnicas de cultivo para diferentes especies de interés comercial se han consolidado. Algunos géneros de peces (vgr., *Centropomus medius* (Maldonado-Gracia, 2004), *Lutjanus peru*, *Paralabrax maculatofasciatus*, Álvarez-González (2003) y moluscos (*Argopecten ventricosus*, *Pecten vogdesi*, *Nodipecten subnodosus*, *Megapitaria aurantica* y *M. squalida*), callo de hacha (*Pina rugosa*, *Atrina maura*), y la madre perla (*Pinctada mazatlanica*, Saucedo-Lastra, 2001) se encuentran entre las más estudiadas. En crustáceos, el mayor esfuerzo de investigación se ha dirigido a los camarones peneidos, tales como *Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus stylirostris* y *Farfantopenaeus californiensis* (Martínez-Córdova *et al.*, 1998a, 1998b, 1999; Villarreal *et al.*, 2003, 2005).

2.2 Tecnología de cultivo

En general, las tecnologías de cultivo para una especie van a depender del país, sitio, manejo, financiamiento disponible y talla comercial deseada (Villarreal y Peláez, 1999).

Las tecnologías de producción de *C. quadricarinatus* se basan en el uso de las prácticas de "mejores resultados". Hutchings y Villarreal (1996); Jones (1989, 1999) y Villarreal y Peláez (1999), han elaborado manuales de producción que describen detalladamente estas prácticas. Sin embargo, el desarrollo comercial del cultivo está limitado por la carencia de investigación científica (Villarreal, 2000).

Desde el punto de vista de la producción, se han clasificado tres sistemas de cultivo para *C. quadricarinatus*:

2.2.1 Sistema de cultivo extensivo:

Su grado de tecnificación es bajo y hay poco control de los parámetros de cultivo. Los estanques son generalmente grandes (0.5-5 ha), construidos en suelos arenos-arcillosos, con poco recambio de agua y sin aireación suplementaria. La alimentación se basa en gran medida de los pastos perimetrales presentes en el estanque y la adición intermitente de alimento de baja calidad.

Su manejo es generalmente de tipo familiar, y la producción es irregular, ya que corresponde a bajas densidades de siembra ($1-2 \text{ m}^{-2}$), alcanzando niveles de 500 a 1,000 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con tallas variables de langosta (50 a 250 gramos). Como resultado de la variabilidad de tallas, el precio promedio de venta se encuentra alrededor de \$ 9.00 USD kg^{-1} . (Jones, 1990; Villarreal y Peláez, 1999).

2.2.2 Sistema de cultivo semi-intensivo.

Su grado de tecnificación es más alto que el sistema extensivo y se busca mantener parámetros de calidad de agua y alimentación acordes a las necesidades de la langosta. Los estanques son de tamaño variable (0.05-1 ha), construidos en suelos arcillosos, con bajo recambio de agua y, en algunas granjas, aireación de emergencia para periodos críticos. La alimentación es rutinaria con alimento de baja calidad, suplementada con atados de forraje. La administración es familiar o de pequeñas empresas. Generalmente no hay un plan sofisticado de operación y el personal cumple tareas asignadas día con día. La producción es más consistente, con cosechas una o dos veces por año. La densidad de siembra es baja (3-4 m⁻²), alcanzando niveles de producción de 1,000 a 2,500 kg ha⁻¹año⁻¹. El peso promedio final de la langosta es más consistente, alcanzando de 80-145 gramos y un precio aproximado de \$ 12.00 USD kg⁻¹ (Villarreal y Peláez, 1999).

2.2.3 Sistemas de cultivo intensivo.

Alto grado de desarrollo tecnológico, propiciado por la aplicación de avances científicos, y la utilización de procesos de mejora continua en la operación, que incorporan de manera sistemática los mejores resultados al cultivo. La calidad de agua se monitorea periódicamente y se evalúa la presencia de patógenos. La dieta es balanceada y busca cubrir los requerimientos nutricionales de la especie, se cuenta con un programa definido de alimentación. Los estanques son de tamaño uniforme (0.25-0.3 ha⁻¹), construidos en suelos arcillosos y pueden estar recubiertos con grava de río o membranas plásticas. El recambio de agua es de 3-5% día⁻¹ y la aireación es constante (Hutchings y Villarreal, 1996; Villarreal y Peláez, 1999). El diseño del sistema incorpora avances que permiten reducir el tiempo de cosecha y preparación de estanques. El manejo depende de personal calificado, con funciones específicas, que ejecutan de manera sistemática sus actividades. La mayoría de las empresas que utilizan estas tecnologías están consolidadas en el campo de la acuicultura o en otras industrias. La planeación del programa operativo permite un

flujo continuo de producto e ingresos. La densidad de siembra es de 6-20 juveniles m^{-2} , con una producción de 2,300 a 4,000 $kg\ ha^{-1}\ ciclo^{-1}$, en dos ciclos por año. El peso promedio final de la langosta es más consistente, alcanzando de 65-115 gramos y un precio promedio de venta de \$ 10.00-15.00 USD kg^{-1} . (Villarreal y Peláez, 1999).

Los sistemas de cultivo para *C. quadricarinatus* más comúnmente utilizados, han sido una combinación de sistemas de cultivo extensivo y semi-intensivo (Mills *et al.*, 1994; Jussila, 1997), con tendencia recientemente, hacia la intensificación, a partir del incremento de la densidad de siembra (Villarreal y Peláez, 1999; Jones y Ruscoe, 2000; Naranjo, 1999; Naranjo *et al.*, 2004).

Hutchings y Villarreal (1996) y Villarreal y Peláez (1999) propusieron para Ecuador y México respectivamente, una tecnología a nivel comercial para el cultivo de *C. quadricarinatus* en estanques de 2500 m^2 , con recubierta de grava de río, utilizando 2 fases para el cultivo: 1) fase de precría, con rendimientos de 2500 $kg\ ha^{-1}$ en 90 días de cultivo y 2) engorda monosexual (sexos separados) con rendimientos de 3500 $kg\ ha^{-1}$ en 110 días de cultivo. Para lo anterior establecieron el uso de 3-5 % de recambio de agua $día^{-1}$, dependiendo de la intensidad del cultivo, aireación continua durante todo el ciclo y una alimentación $día^{-1}$ (18 hrs).

2.3 Optimización en acuicultura

El uso de tecnologías de cultivo optimizadas es deseable cuando existe la necesidad de utilizar eficazmente los recursos (Villarreal, 2000). Desde el punto de vista comercial, el uso de una tecnología en particular busca obtener el máximo ingreso neto. Para lograr el máximo ingreso neto en la producción de *C. quadricarinatus* es necesario optimizar cada variable operativa (vgr. densidad de cultivo, alimentación, recambio de agua, aireación, estrategia de cosecha). Desde este punto de vista, y dado que el bombeo, la aireación y la alimentación representan el 49% de los costos de producción, para el presente trabajo, producción óptima es aquella que utiliza el

mínimo recambio de agua, aireación y alimento que permita alcanzar el máximo rendimiento económico.

Diversos autores han presentado resultados relacionados con la optimización con el fin de reducir los costos de producción, y el impacto en el ambiente, o bien intensificar el cultivo de especies acuícolas (Hopkins, *et al.*, 1996; Sandifer y Hopkins, 1996; Martínez, *et al.*, 1997; i.e. Berheim y Jacobsen, 2001; Browdy *et al.*, 2001; Boyd y Clay, 2002; Gelfand *et al.*, 2003).

2.3.1 Reducción de recambio de agua.

El recambio de agua es usado en sistemas de acuicultura intensiva y semi-intensiva para mantener niveles adecuados de oxígeno y para eliminar materia orgánica, blooms de algas excesivos y metabolitos que pueden ser perjudiciales para los organismos cultivados (Colt y Tchobanoglous, 1976; Colman y Jacobson, 1991; Russo y Thurson, 1991). La mayoría de las granjas semi-intensivas usan intervalos de recambio de agua que van del 10-15% de la capacidad del estanque por día. Investigaciones previas han mostrado que estos recambios pueden ser drásticamente reducidos, o eventualmente eliminados, sin un decremento en la producción de crustáceos, si otros parámetros, tales como aireación, remoción de fondos, fertilización, alimentación, son manejados apropiadamente (Hopkins, 1994; Martínez *et al.*, 1995; Hopkins *et al.*, 1996; Sandifer y Hopkins, 1996).

Adicionalmente, la reducción en las tasas de recambio de agua en acuicultura comercial se utiliza como medida de bioseguridad y sustentabilidad, dado que ayuda a prevenir la introducción y diseminación de patógenos (Flegel *et al.*, 1997; Browdy *et al.*, 2001; Boyd y Clay, 2002).

2.3.2 Manejo de la aireación suplementaria.

La aireación suplementaria es comúnmente usada en estanques de cultivo como una alternativa para mejorar la calidad del agua y para reforzar la producción de organismos acuáticos cultivados (Sheperd *et al.*, 1989; Colt y Orwicz, 1991; Sandifer *et al.*, 1991; Martínez, *et al.*, 1997). Con el uso de aireación, se puede reducir el nivel de recambio de agua en estanques de cultivo (Sandifer *et al.*, 1996; Sandifer y Hopkins, 1996; Martínez, 1997, 1998).

Al igual que el recambio de agua, la aireación suplementaria en un cultivo puede ser optimizada. Martínez *et al.*, (1997, 1998b, 1998c), reportan rendimientos similares en el cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y *Farfantopenaeus californiensis* en estanques con bajo recambio de agua, utilizando 6, 12 y 24 horas día⁻¹ de aireación, concluyendo que 6 horas día⁻¹ de aireación es suficiente para la producción semi-intensiva. Esto representa un ahorro en el costo de energía necesaria para aireación, dándole mayor rentabilidad económica al cultivo.

2.3.3 Manejo de la alimentación.

Una práctica común en acuicultura es sobrealimentar los estanques buscando acelerar el crecimiento. Esta práctica a menudo no solamente no produce los resultados deseados, sino que contribuye a la degradación de la calidad del agua en los estanques. Esta degradación puede afectar el desarrollo de los organismos cultivados (Cruz, 1991; Salame, 1993; Sandifer y Hopkins, 1996). Por esto es importante seleccionar aquellas estrategias de alimentación que efectivamente mejoren el crecimiento, la sobrevivencia, el rendimiento y el factor de conversión alimenticia y degraden lo menos posible la calidad del agua.

Por otro lado, la contribución del alimento natural en la nutrición de camarones, peces y langostas de agua dulce ha sido evaluada por diversos autores. Anderson *et al.*, (1987) reportaron que éste representa del 53 al 77% de la nutrición del camarón

en estanques semi-intensivos, mientras que Castille y Lawrence (1989) estimaron que contribuye más del 50% de la nutrición del camarón blanco, *Litopenaeus vannamei*. Por su parte, Jones (1990a); Jones (1995) y Villarreal y Peláez (1999) mencionan que, para la langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*, el alimento natural representa hasta el 70% de su nutrición. Otros autores, (Leber y Pruder 1988; Rubright *et al.*, 1981; Jones, 1995; Jory, 1996; Sandifer y Hopkins 1996), también han enfatizado la importancia del alimento natural en estanques de camarón, siendo las comunidades de zooplancton y bentos, los organismos que los crustáceos consumen prioritariamente (Rubright *et al.*, 1981; Yufera, 1984; Jones, 1990a; Jones, 1995; Chen y Chen, 1992; Martínez, 1998c; Villarreal y Peláez, 1999).

2.4 Avances científicos del cultivo y engorda de *C. quadricarinatus*.

En los últimos años se han realizado diversos estudios relacionados con el cultivo de *C. quadricarinatus*.

Existen manuales de producción que discuten los aspectos más relevantes relacionados con el cultivo de *C. quadricarinatus*, desde el diseño de una granja y los criterios para la selección del lugar, hasta el manejo postcosecha del producto y su introducción al mercado, con un análisis detallado del mismo (i.e. Hutchings y Villarreal, 1996; Jones, 1999; Villarreal y Peláez, 1999).

Por su parte, Jones (1995a) concluye que una temperatura de 24-27°C, 14 horas al día de luz, y refugios artificiales para las hembras, son factores indispensables para el óptimo desarrollo embrionario y post-embrionario. Jones (1995b) encontró que la talla de los juveniles producidos puede variar de 0.31 a 1g, dependiendo de la dimensión de los estanques, la densidad de siembra y la duración del ciclo. De manera similar, Jones (1995c) concluye que el alimento fresco produce buenas tasas de crecimiento en juveniles, y que la presencia de microalgas no es adecuada.

Hutchings (1990) realizó un estudio de cultivo comparando estanques con fondo de tierra o con fondo de lona de plástico, encontró mejores resultados usando lona de plástico. Austin (1992) realizó estudios preliminares que examinan las posibilidades de producir langostas de agua dulce en estanques de tierra, sembrando juveniles de 3.5 g, usando alimento para camarón y obtuvo animales de 27 g en 90 días con una supervivencia del 79%. Por su parte, Hune *et al.*, (1995) usaron plantas de maíz como fuente de alimento en los estanques de cultivo, encontrando que esta práctica es adecuada debido a que ayuda a controlar el nivel de pH, además de resultar más barata. Barki *et al.*, (1997) comprobaron que la distribución espacial del alimento en los estanques influye en el rendimiento final, y observaron que el suministro de alimento cada cuatro días vuelve a los organismos agresivos y con muestras de estrés en comparación con aquellos que recibieron suministro diario de alimento. Du-Boulay *et al.*, (1993) estudiaron el cultivo intensivo de *C. quadricarinatus*, observando que la principal limitante es el canibalismo, aunque la provisión de refugios puede reducir este problema, ya que la sobrevivencia aumentó 33%. La funcionalidad de tres diferentes tipos de refugios (empaques plásticos de desecho, tubos de PVC y piedras) fue evaluada por Karplus *et al.*, (1995) en la engorda de juveniles. Los tubos de PVC resultaron ser los más eficientes y las piedras los de menor eficiencia.

Pinto y Rouse (1996) evaluaron el efecto de tres densidades de siembra (1, 3 y 5 animales m⁻²) en estanques de tierra, encontrando que el peso promedio final es inversamente proporcional a la densidad de siembra, al igual que se ha observado con otras especies en cultivo. Las ventajas del cultivo monosexual han sido estudiadas por Curtis y Jones (1995).

Por otro lado Grubb (1994); Romero, (1997, 1998) y Villarreal (2000) han indicado, de forma independiente, que la especie es adaptable a las condiciones de varios países, mientras que Khota y Rouse (1997), indican que el policultivo con tilapia no da buenos resultados.

2.5 Investigación desarrollada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) con *C. quadricarinatus*.

El CIBNOR contribuye al avance del conocimiento de la biología y tecnología de cultivo de *C. quadricarinatus* desde 1994. El objetivo fundamental del CIBNOR en este sentido, ha sido el establecer una tecnología de cultivo de fácil aplicación, que pueda ser utilizada para producir comercialmente la especie, así como eficientar el uso del recurso agua, en asociación a la producción agrícola tradicional de diferentes regiones de México. Para ello, ha sido necesario emplear una estrategia multidisciplinaria que abarque líneas diversas de investigación, asociadas al proceso reproductivo, nutrición, y escalamiento del sistema de producción.

A la fecha, se cuenta con avances significativos en el conocimiento relacionado con el proceso de reproducción, en el que se han definido las características moleculares de la vitelina (Serrano-Pinto *et al.*, 2002; 2003; 2004), el requerimiento óptimo de proteína para la maduración de reproductores (Rodríguez *et al.*, 2002; 2004; 2005; García-Ulloa *et al.*, 2003), así como información relacionada con el desarrollo embrionario (García-Guerrero *et al.*, 2003 a,b,c,d). La información generada permite mejorar la capacidad de producción de juveniles en estanques comerciales.

Por otro lado, dado que la alimentación representa uno de los costos más significativos desde el punto de vista operativo, López-López *et al.*, (2003; 2005) caracterizaron las enzimas digestivas, y Campaña *et al.*, (2004; 2005), establecieron la digestibilidad de diferentes insumos de importancia en la formulación de raciones balanceadas para juveniles y preadultos de *C. quadricarinatus*. Esto permite formular raciones balanceadas apropiadas para la especie. Además, se establecieron los requerimientos mínimos de proteína y energía para juveniles y preadultos de la especie, así como la frecuencia óptima de alimentación en condiciones de laboratorio (Cortés *et al.*, 2002; 2003 a,b; 2004 a, b), lo que permite maximizar la producción, y reducir el impacto en el medio de cultivo de sustancias nocivas para el desarrollo de la especie.

Naranjo *et al.*, (2004) evaluaron el efecto de diferentes densidades para la fase de precría en estanques comerciales recubiertos con piedra de río (hasta 20 organismos m⁻²) reportando una relación inversa entre peso promedio final y la densidad de siembra. Naranjo (1999) y Villarreal *et al.*, (1999), concluye que cultivar machos y hembras por separado da lugar a tallas más grandes para ambos sexos.

Desde el punto de vista de eficiencia productiva, se le dio prioridad al estudio del impacto del recambio de agua, la aireación suplementaria y estrategia de alimentación en el desarrollo del organismo. El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento científico en este sentido.

3 Justificación

En México, el cultivo de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*, ha recibido gran atención por acuicultores y agricultores de diversas regiones del país, habiéndose iniciado evaluaciones precomerciales en diferentes estados de la República (i.e., B. C. S., Colima, Morelos, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz).

Un factor limitante para el desarrollo social y económico en la región noroeste del país, es la carencia de volúmenes adecuados de agua para sustentar el desarrollo industrial con estrategias de producción tradicional (vgr. agricultura), lo que hace necesario que el uso de agua sea optimizado.

Por ejemplo, en B.C.S. hay disponibles 342,811 millones de metros cúbicos de agua en 39 cuencas geohidrológicas (CNA, 1999), que deben cubrir la demanda de la población. Estas necesidades incluyen la demanda de los diferentes valles agrícolas, en los que existe un alto porcentaje de productores que se encuentra en problemas financieros, por una caída en la viabilidad económica de sus cultivos. Por ello, es necesario buscar propuestas que contribuyan a la reactivación del sector agrícola a través del uso de tecnologías que permitan mejorar su viabilidad financiera. El cultivo de *C. quadricarinatus* puede representar una alternativa para la diversificación de la base productiva. Sin embargo, es necesario adecuar algunas variables de producción a las condiciones regionales. El presente trabajo aborda aspectos relacionados a la optimización de la producción de la langosta de agua dulce, buscando definir el nivel mínimo de recambio de agua, la aplicación de la aireación como sistema de manejo de la calidad de agua y la definición de estrategias de alimentación que mejoren la producción, los cuales representan los principales costos de producción del cultivo.

El trabajo pretende sentar las bases para la implementación de una tecnología de cultivo de *C. quadricarinatus*, ecológicamente amigable, la cual involucra el uso optimizado del agua.

4. Hipótesis

C. quadricarinatus ha mostrado ser una especie fisiológicamente robusta, por lo que se considera que puede soportar reducciones en los niveles de aireación y recambio de agua en el sistema de cultivo sin causar detrimento al crecimiento y la sobrevivencia, ni producir efectos negativos en el aprovechamiento del alimento, medido con el factor de conversión alimenticia (FCA).

Se ha reportado que *C. quadricarinatus* es dependiente en gran medida de la productividad natural del estanque para su nutrición, por lo que se considera que se puede optimizar el uso de alimento peletizado, modificando la estrategia de alimentación, sin causar un detrimento en la calidad del agua y los niveles de producción de la especie.

Al optimizar los niveles de aireación, recambio de agua y alimentación se genera una reducción en los principales costos de producción de *C. quadricarinatus*, dándole mayor rentabilidad económica al cultivo. Además, se tendrán las bases para implementar una tecnología de cultivo ecológicamente amigable.

5 Objetivo general

Optimizar los niveles de recambio de agua, aireación y alimentación en el cultivo de *C. quadricarinatus*, a fin de ofrecer una alternativa de producción más atractiva desde el punto de vista económico.

5.1 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de diferentes niveles de recambio de agua en la producción de la langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*.
2. Evaluar el efecto de diferentes niveles de aireación en la producción de la langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*.
3. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de alimentación, para maximizar la producción de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*.
4. Realizar un análisis económico para definir el efecto de la optimización de las variables de recambio de agua, aireación y alimentación en el costo de producción de *C. quadricarinatus*.

6 Metodología

6.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

6.1.1 Unidades experimentales:

Se utilizaron 12 tanques circulares de plástico con un diámetro de 1.7 m y un área de 2.26 m². Dichos tanques se ubicaron dentro de un invernadero el cual cuenta con distribución de agua dulce, aire y energía eléctrica hacia cada uno de los tanques. (Figura 2).

Como protección para los juveniles, en cada unidad se utilizaron 2 escondrijos consistentes cada uno de 8 láminas de malla de nylon de 0.8 X 0.8 m c/u, atados por un extremo y distribuidos homogéneamente en el área del tanque, además de 6 escondrijos consistentes c/u en 5 tubos de PVC; 6.3 cm de diámetro y 30 cm de largo unidos por un fleje (Figura 3).



Figura 2. Unidades experimentales utilizadas para la evaluación del efecto de diferentes niveles de recambio de agua en juveniles de *C. quadricarinatus*.



Figura 3. Escondrijos utilizados como protección para juveniles de *C. quadricarinatus*, durante la evaluación del efecto de diferentes niveles de recambio de agua.

6.1.2 Organismos experimentales

La producción de juveniles se realizó de acuerdo a lo definido por Villarreal y Peláez (1999). Para ello, se contó con reproductores de *C. quadricarinatus* de 60 g de peso promedio (Figura 4), sembrados a 1 m⁻² de densidad, en una proporción de 3:1 (hembra:macho) en 1 estanque de 1000 m² (25 X 50 X 1 m) en el CIBNOR. Los juveniles se obtuvieron después de 60 días de sembrados los reproductores, mediante cosecha directa de los moños de malla nylon que utilizan los organismos como escondrijos en el estanque anteriormente descrito (Figura 5). Los juveniles en estadio intermuda se seleccionaron de acuerdo a su peso (3.0 ± 0.2 g) y aspecto exterior, para la siembra de las unidades experimentales (Figura 6).



Figura 4. Hembra y macho de *Cherax quadricarinatus*, mostrando las características sexuales más distintivas. Macho: Parche rojo en la quela; Hembra: Caparazón extendido lateralmente, para proporcionar una mejor estructura de recepción en la formación de la cápsula protectora durante la reproducción (Villarreal y Peláez, 1999).



Figura 5. Cosecha de juveniles de *C. quadricarinatus*, de los moños de malla nylon en un estanque de 1000 m² recubierto con plástico.



Figura 6. Juveniles de *C. quadricarinatus* seleccionados por peso, aspecto exterior y estadio de muda.

6.1.3 Manejo de las unidades experimentales

El suministro de agua para los tanques de cultivo provino de un pozo de agua salobre (2 ups), la cual se condujo a un reservorio de 4000 L mediante una bomba de 8 HP. Cada tanque contó con suministro individual de agua mediante un tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada con una válvula de cierre rápido para control del flujo. El nivel de operación de los tanques fue de 0.6 m. Los tanques contaron con 2 calentadores sumergibles de 300 watts c/u para mantener la temperatura constante a $27.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Adicionalmente, para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto y de circulación de agua, el suministro de aire de un soplador marca Sweet-water de 10 H.P., se realizó mediante un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada y 1.2 m de largo, colocado centralmente en el fondo de cada tanque; dicho tubo contó con orificios (1/16 pulgada) a lo largo del mismo. El suministro de aire en esta evaluación fue constante.

Diariamente se monitorearon la temperatura, el nivel de oxígeno disuelto (7:30 a.m., 4:00 p.m.) mediante un oxímetro YSI 55, y el pH (4:00 p.m.) mediante un phmetro HACH/Drell 2000. Quincenalmente se evaluaron el nivel de amonia, nitritos, nitratos, fosfatos, dureza y alcalinidad, siguiendo técnicas estandarizadas y utilizando un equipo de monitoreo HACH/Drell 2000 (Figura 7).



Figura 7. Equipo HACH/Drell 2000 utilizado para la medición y registro de parámetros fisicoquímicos del agua en las unidades experimentales.

Como alimento para los organismos se proporcionó una dieta balanceada comercial para camarón con 35% de proteína cruda (PIASA[®]) una vez al día (5:30 p.m.), de acuerdo a una tabla de alimentación previamente definida por Villarreal y Peláez (1999). El alimento se distribuyó homogéneamente de manera manual en los tanques.

6.1.4 Tratamientos experimentales

Se evaluaron por triplicado cuatro tratamientos experimentales: 0, 2.5, 5 y 7.5% de recambio de agua por día. Se sembraron juveniles con un peso promedio de 3.0 ± 0.2 g a una densidad de 15 juveniles m^{-2} (34 juveniles tanque^{-1}). Quincenalmente se evaluó la tasa de crecimiento por un periodo de 60 días, mediante el registro del incremento de peso de los organismos en cada tanque, con una balanza digital OHAUS (precisión = 0.01 g) (Figura 8). Al finalizar la evaluación se determinó la sobrevivencia y la biomasa final por unidad de área, mediante la cosecha del total de los organismos en las unidades experimentales.



Figura 8. Balanza digital utilizada para el registro de incremento de peso de juveniles de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de recambio de agua.

6.1.5 Análisis de información

El efecto de los diferentes tratamientos experimentales en el desarrollo de los organismos se evaluó en función del incremento en peso, mediante el cálculo de los siguientes parámetros de producción:

$$\text{Tasa de crecimiento absoluta (TCA): } TCA = \frac{(P_f - P_i)}{t}$$

Donde:

P_f = Peso final

P_i = Peso inicial

t = Período de tiempo del cultivo experimental

Tasa de crecimiento específica (TCE): denota el crecimiento promedio por día.

$$TCE = \frac{\ln P_t - \ln P_i}{t} \times 100$$

Donde:

$\ln P_t$ = logaritmo natural del peso a un tiempo t

$\ln P_i$ = logaritmo natural del peso inicial.

Factor de conversión alimenticia aparente (FCA):

$$FCA = \text{Alimento suministrado (g)} / \text{Incremento en biomasa (g)}$$

Sobrevivencia:

(S): (Número final de organismos/número inicial de organismos) x 100.

Las diferencias entre tratamientos, se definieron utilizando el paquete computacional STATISTICA versión 5.0. Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido por una prueba de rangos múltiples de Tukey (Sokal y Rohlf, 1984). Se consideró que las diferencias entre los valores finales de los parámetros medidos eran significativas cuando p tuvo valores menores a 0.05 (Zar, 1996). De manera similar, las variaciones producidas en calidad de agua por los tratamientos fueron analizadas por las pruebas de ANOVA y Tukey.

6.2 Efecto del nivel de aireación en preadultos de *C. quadricarinatus*, en cultivo monosexual.

6.2.1 Unidades experimentales

Se utilizaron las unidades experimentales descritas en el punto 6.1.1.

6.2.2 Organismos experimentales

Se seleccionaron organismos preadultos machos y hembras de *C. quadricarinatus*, con peso promedio de 11.2 ± 0.5 g, los cuales se obtuvieron de un estanque de 1000 m², mediante cosecha directa de los moños de malla nylon, de acuerdo a lo descrito anteriormente.

6.2.3 Manejo de las unidades experimentales

El manejo de los tanques se realizó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.3.

6.2.4 Tratamientos experimentales

Se evaluaron tres tratamientos experimentales por cuadruplicado: 0, 6, y 12 horas de aireación día⁻¹, para cada sexo. La densidad de siembra utilizada fue de 8 organismos m⁻². El periodo de cultivo fue de 70 días. La tasa de crecimiento, la sobrevivencia y la biomasa por unidad de área se obtuvieron de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.4. De igual manera el análisis de información se llevo de acuerdo al punto 6.1.5.

6.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de *Cherax quadricarinatus*.

6.3.1 Unidades experimentales

Se utilizaron 12 estanques de 100 m² (7 X 14.3 m, por 1.5 m de profundidad promedio) con recubrimiento de plástico (Figura 9).

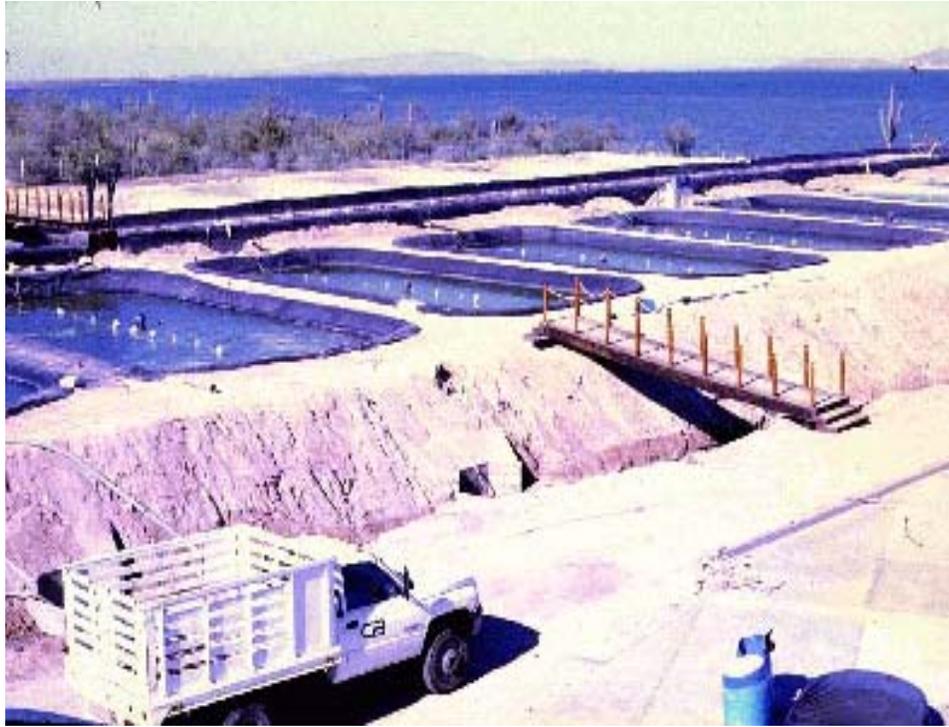


Figura 9. Estanques de 100 m² con cubierta de plástico en el CIBNOR.

Como protección para los juveniles, en cada unidad se utilizaron 60 escondrijos consistentes cada uno de 8 láminas de malla de nylon de 0.8 X 0.8 m c/u, atados por un extremo (moños) y distribuidos en el perímetro del estanque, además de 190 bloques de cemento con 4 agujeros de 6 cm de diámetro y 30 cm de ancho, distribuidos de manera homogénea en el fondo del mismo (Figura 10).



Figura 10. Distribución homogénea de moños de malla de nylon y de bloques de cemento en los estanques de 100 m² con fondo de plástico.

6.3.2 Organismos experimentales

La producción de juveniles para la siembra de los estanques se realizó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.2.

6.3.3 Manejo de las unidades experimentales

El suministro de agua para los estanques provino de un pozo de agua salobre (2 ups). En función de los resultados obtenidos en la evaluación del efecto de recambio de agua, en el invernadero, durante el experimento, no se realizó recambio de agua en los estanques, agregando agua semanalmente solo para recuperar el nivel perdido por evaporación equivalente a 0.015 % día⁻¹ (0.1% semana⁻¹). El agua fue fertilizada para promover la productividad primaria con Nutrilake ® (una fuente inorgánica de nitrógeno) y superfosfato de sodio triple Na₂(PO₃) en una relación de 3:1. Esto equivale a 6 y 2 kg ha⁻¹ respectivamente (Villarreal y Peláez, 1999).

Fertilizaciones posteriores se realizaron cuando el disco de secchi mostró una transparencia de 45 cm o más. El nivel de operación de los estanques fue de 1 m.

El monitoreo de parámetros de calidad de agua se realizó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.3.

Para suministrar la aireación a los estanques se utilizó un soplador de 10 h.p. y un sistema de distribución mediante tubería de PVC de ½ pulgada, con orificios de 1/16 de pulgada a lo largo del tubo, el cual se ubicó al centro y fondo de los estanques (Figura 11).

6.3.4 Alimentación

Se utilizó una dieta comercial para camarón (PIASA[®] 35% de contenido de proteína cruda). La alimentación se realizó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.3.



Figura 11. Estanque con aireación por la parte central del fondo del estanque. El nivel de aireación se controló con una válvula de cierre rápido.

6.3.5 Tratamientos experimentales

Se evaluaron por triplicado 4 niveles de aireación (0, 6, 12, y 24 horas de aireación día⁻¹), por un periodo de 84 días. El horario de suministro de aireación en el tratamiento de 6 horas fue a partir de las 2 h y en el de 12 horas fue a partir de las 20 h. Juveniles de *C. quadricarinatus* de 3.5 ± 0.5 g de peso promedio se sembraron en cada unidad experimental a una densidad de 15 organismos m⁻². Se evaluó el crecimiento y se calculó el factor de conversión alimenticia semanalmente con base al muestreo aleatorio de 60 organismos experimentales obtenidos de la siguiente manera: Durante los primeros 30 días, 100 % del muestreo correspondió a los moños; entre los 30-60 días, 50 % de los organismos provino de los moños y 50 % de los bloques; y el 100 % de la muestra se obtuvo de los bloques de los 60 días en adelante. Este cambio es debido al comportamiento y hábitos de la langosta de acuerdo a su edad (Villarreal y Peláez, 1999). El incremento en peso, la sobrevivencia y la biomasa por unidad de área, se determinaron de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.4. Así mismo, el análisis estadístico de la información fue de acuerdo al punto 6.1.5.

6.4 Efecto de diferentes estrategias de alimentación en juveniles de *C. quadricarinatus*.

6.4.1 Unidades experimentales

Se utilizaron las unidades experimentales (estanques de 100 m²) descritas en el punto 6.3.1, bajo las mismas condiciones.

6.4.2 Organismos experimentales

Los organismos experimentales fueron juveniles seleccionados de un peso promedio de 2.5 ± 0.5 g, obtenidos y seleccionados de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.2.

6.4.3 Manejo de las unidades experimentales

El manejo de los estanques se llevó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.3.3.

6.4.4 Tratamientos experimentales

Se evaluaron 2 estrategias de alimentación durante 75 días, por duplicado:

- a) Las tablas de alimentación propuestas por Hutchings y Villarreal (1996) y Villarreal y Peláez (1999), utilizando un alimento comercial con 35 % de proteína cruda (PIASA[®]), alimentando 1 vez al día a las 18 horas.
- b) Las tablas de alimentación propuestas por Hutchings y Villarreal (1996) y Villarreal y Peláez (1999), utilizando un alimento comercial con 35 % de proteína cruda (PIASA[®]), alimentando 4 veces al día a las 8, 12, 18 y 24 horas, dividiendo la ración de alimento en 4 partes iguales.

El incremento en peso, la sobrevivencia y la biomasa por unidad de área, se determinaron de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.4. Así mismo, el análisis estadístico de la información fue de acuerdo al punto 6.1.5.

Adicionalmente, a fin de relacionar el impacto de las estrategias de alimentación aplicadas en esta evaluación, se registraron los siguientes parámetros: niveles de clorofila a y b en el agua de cultivo, determinación de la estabilidad del alimento en el agua (lixiviación), análisis químicos proximales en el alimento, tracto digestivo, hepatopáncreas y músculo de *C. quadricarinatus*.

6.4.5 Mediciones de clorofila *a* y *b* en el agua de cultivo.

La determinación de clorofilas *a* y *b* se realizó mediante la medición semanal con un espectrofotómetro SPECTRONIC® de muestras del agua de cultivo de los estanques. Se tomaron 200 mL de muestra en cada estanque, y se ajustaron a un volumen de 100 mL. Se agregó 1 mL de acetona y se homogenizó, para posteriormente realizar las mediciones a 665, 645 y 630 nm. Para la obtención de los datos de clorofila *a* y *b* se utilizaron las siguientes formulas:

$$Ca \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = D.O * 665 - D.O * 645 - D.O * 630$$

$$Cb \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = D.O * 645 - D.O * 665 - D.O * 630$$

Donde:

Ca y *Cb*: Son concentraciones de Clorofila *a* y Clorofila *b*

D.O: Es la densidad óptica medida (Strickland y Parsons, 1972).

6.4.6 Determinación de la estabilidad del alimento en el agua (lixiviación)

Se determinó la lixiviación del alimento comercial para camarón con 35% de proteína cruda (marca PIASA®) a 6 y 24 h de inmersión en agua, siguiendo el método propuesto por Goytortúa (2002). Se colocaron 4 g de alimento en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se le agregaron 200 mL de agua destilada. Después de 6 o 24 h, según fuera el caso, se retiró el contenido del matraz, filtrándolo a través de un papel filtro Whatman No 1, previamente secado y pesado, con la ayuda de una bomba de vacío. El papel filtro con el alimento residual se sometió a un secado en una estufa con flujo de aire a 40 °C por 24 h. Para la determinación de la estabilidad de la muestra en el agua se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad (\%)} = \text{Peso seco del alimento (final)} / \text{Peso seco del alimento (inicial)} \times 100.$$

6.4.7 Análisis químicos proximales en el alimento, tracto digestivo, hepatopáncreas y músculo de *C. quadricarinatus*.

Se tomó 1 g de las muestras de alimento a las 6 y 24 h de inmersión en agua para la determinación de análisis químicos proximales. Se utilizó el método de antrona para carbohidratos totales, el método de Bradford para proteínas y el método de Sulfosfovainillina para lípidos totales (Cortés *et al.*, 2003).

Adicionalmente, se realizaron análisis químicos proximales (carbohidratos, proteínas y lípidos) de tracto digestivo, hepatopáncreas y músculo de *C. quadricarinatus*, después de 30 y 75 días de cultivo para los dos tratamientos, utilizando las siguientes metodologías:

Proteínas (Bradford). Se hidrataron las muestras previamente liofilizadas con Solución isotónica de crustáceos (SIC) (aproximadamente 1 mL de SIC por 0.1 gr de muestra). Se tomaron 10 µL de homogeneizado y se añadieron 90 µL de NaOH 0.1 N; se dejó digerir durante 2 h, se agitó, se recuperaron 10 µL en un tubo de vidrio, se le agregó 1 mL del reactivo de Bradford, se agitó y se leyó en un espectrofotómetro a 595 nm (Bradford, 1976).

Lípidos totales (método de sulfosfovainillina). Se hidrataron las muestras previamente liofilizadas con SIC (aproximadamente 1 mL de SIC por 0.1 g de muestra). Se tomaron 25 µL de homogeneizado en un tubo de vidrio, se le agregaron 250 µL de H₂SO₄ concentrado, se agitó antes de calentar en baño María a 90 °C durante 5 minutos. Se enfrió la muestra en baño de hielo, se agitó y se colocó cada muestra en un pozo de microplaca; se le agregaron 200 µL del reactivo de vainillina, dejándose incubar durante 40 min y se leyó en un espectrofotómetro a 530 nm (Barnes y Blackstock, 1973).

Carbohidratos totales (Antrona). Se hidrataron las muestras previamente liofilizadas con SIC (aproximadamente 1 mL de SIC por 0.1 g de muestra). Se tomaron 100 µL

de homogenizado y se añadieron 100 μ L de TCA al 20% y se centrifugó a 3600 rpm durante 10 minutos a 5 °C. Se recuperaron 100 μ L del sobrenadante en un tubo de vidrio a temperatura ambiente y se agregó 1 mL de reactivo antrona, calentando a 85 °C en un baño María durante 10 min, y se leyó una alícuota en un espectrofotómetro a 620 nm (Roe *et al.*, 1961).

El análisis estadístico de información para datos de clorofila, análisis de estabilidad del alimento y análisis químicos proximales, se realizó de acuerdo a lo descrito en el punto 6.1.5.

6.5 Análisis económico.

6.5.1 Impacto del recambio de agua, la aireación y el alimento en el costo de producción.

Con el fin de evaluar el efecto de la optimización de las principales variables en los costos de producción de *C. quadricarinatus*, se realizó un análisis económico tomando en consideración el impacto del recambio de agua, la aireación y el uso de alimento en el costo de producción. Para ello se toman como base las propuestas de cultivo de Hutchings y Villarreal (1996) y Villarreal y Peláez (1999), para Ecuador y México respectivamente. En este documento a éstas se les considera sistemas de producción “no optimizados” (SPNO), desde el punto de vista de recambio de agua, aireación y alimentación.

Se realizó una comparación económica en función a los resultados de las variables optimizadas, en el presente trabajo. Al uso de valores que producen los mejores rendimientos productivos se le considera como sistema de producción “optimizado” (SPO).

La Figura 12 muestra los porcentajes de costos de operación anual en una granja “tipo” de 10 ha, considerados para el presente análisis como sistema de producción

“no optimizado” (SPNO). De las 10 ha, 5 ha corresponden a engorda, y el resto a reproducción y precría (Villarreal y Peláez, 1999; Villarreal, 2000).

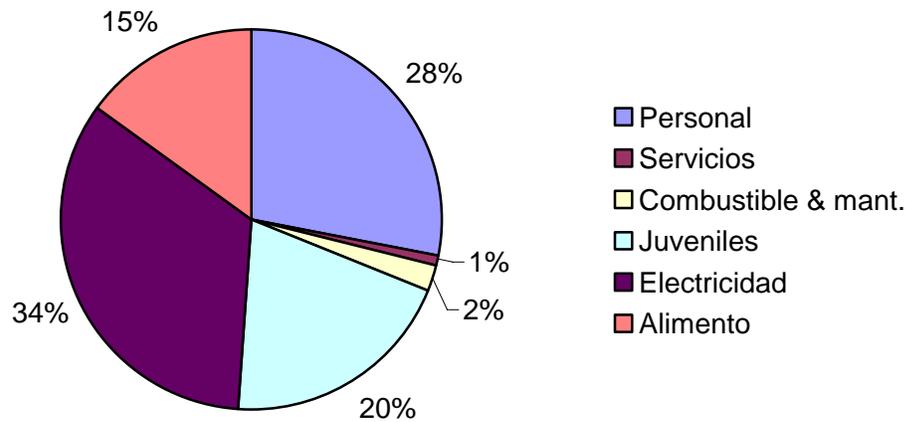


Figura 12. Costos de operación anual (%) para una granja de 10 ha para la producción de langosta de agua dulce (*C. quadricarinatus*) (modificado de Villarreal y Peláez, 1999).

Cabe resaltar que el recambio de agua, la aireación (representados por la electricidad y el desgaste de equipos), y la alimentación representan el 49 % de los costos totales de operación de la granja.

Se realizó una corrida financiera con flujo de efectivo a 10 años para establecer los indicadores económicos para una producción SPNO y SPO de *C. quadricarinatus*. Para lo anterior, se utilizó una hoja de cálculo predeterminada para tal fin en Excel, de acuerdo a lo indicado por Coss (1996) y González (2002).

Se utilizaron como indicadores económicos la tasa interna de rendimiento (TIR) también conocida como tasa interna de retorno, el periodo de recuperación de capital

(PRC) y la utilidad sobre costos de producción. Un indicador directamente asociado a la TIR es el valor actual neto (VAN). Coss (1996) define la TIR como la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión. Formalmente, la TIR es la tasa de i que satisface la ecuación:

$$0 = \sum_{N=0}^H F_N / (1+i)^N$$

En la que H es el horizonte de análisis en años, N es el tiempo en años y F_N es el flujo de efectivo al año N.

La utilidad en el presente trabajo se calculó mediante la expresión:

$$U = I - CP - i$$

Donde I es el ingreso, CP los costos de producción e i es el pago de impuestos.

A su vez, los ingresos se obtuvieron a partir de la estimación de biomasa total cosechada y del precio de la langosta en el mercado. La biomasa cosechada en el SPNO se fijó en 3,500 kg ha⁻¹ciclo⁻¹ con tres ciclos año⁻¹, representando 52,500 kg anuales. El precio de langosta se fijó en \$12 USD kg⁻¹ (Villarreal y Peláez, 1999; N. Medina, Megar, S.A., com. pers., 2005).

Los costos de producción se calcularon de acuerdo con:

$$CP = CF + CV$$

Donde CF y CV son costos fijos y variables de producción anual. Los costos fijos estuvieron representados por los siguientes rubros: personal, compra de juveniles, investigación y desarrollo, combustibles y mantenimiento a vehículo y servicios y suministros para oficina. Los costos variables utilizados fueron: alimento balanceado

y energía eléctrica, de acuerdo a los dos sistemas de cultivo comparados. Para lo anterior, en el SPO se aplicaron los valores de las variables de recambio de agua, aireación y alimentación optimizadas en función a los resultados obtenidos en el presente trabajo.

En el anexo I se muestran las bases de cálculo detalladas de los costos de inversión y operación considerados en el análisis económico para el SPNO y SPO respectivamente.

7. Resultados

7.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

7.1.1 Calidad del agua en el cultivo de juveniles de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de recambio de agua.

La calidad del agua durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de recambio de agua no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$), y se mantuvo dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990; Masser y Rouse, 1997; Villarreal y Peláez, 1999). La Tabla 1 muestra los promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua medidos.

Tabla 1. Valores promedio (\pm desviación estándar, n=3) de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, registrados durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de recambio de agua.

Parámetro	% de recambio de agua/día			
	0	2.5	5	7.5
Temperatura (°C)	28.4 \pm 0.4	28.4 \pm 0.3	28.3 \pm 0.4	28.4 \pm 0.3
Oxígeno (mg L ⁻¹) 7:30 a.m.	8.2 \pm 0.6	8.3 \pm 0.6	8.3 \pm 0.5	8.4 \pm 0.4
Oxígeno (mg L ⁻¹) 4:00 p.m.	9.3 \pm 0.5	9.4 \pm 0.4	9.6 \pm 0.5	9.8 \pm 0.5
pH	8.0 \pm 0.6	7.8 \pm 0.8	7.9 \pm 0.7	7.8 \pm 0.9
Dureza Total (mg L ⁻¹)	250 \pm 9	263 \pm 13	255 \pm 11	260 \pm 15
Alcalinidad Total (mg L ⁻¹)	160 \pm 4	162 \pm 5	160 \pm 3	161 \pm 4
Amonio (mg L ⁻¹)	0.06 \pm 0.002	0.05 \pm 0.011	0.05 \pm 0.009	0.03 \pm 0.018
Nitritos NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	0.012 \pm 0.002	0.012 \pm 0.002	0.010 \pm 0.002	0.011 \pm 0.002
Nitratos NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	3.8 \pm 0.7	3.4 \pm 0.6	3.5 \pm 0.7	3.2 \pm 0.8

* Ninguno de los parámetros medidos fue significativamente diferente ($P > 0.05$) en función del porcentaje de recambio de agua.

7.1.2 Respuesta productiva de juveniles de *C. quadricarinatus* a diferentes niveles de recambio de agua.

El peso promedio de *C. quadricarinatus* al final de la prueba no fue significativamente diferente entre los tratamientos ($P>0.05$). La Figura 13 muestra el incremento en peso de los organismos experimentales a diferentes niveles de recambio de agua, en un período de 60 días.

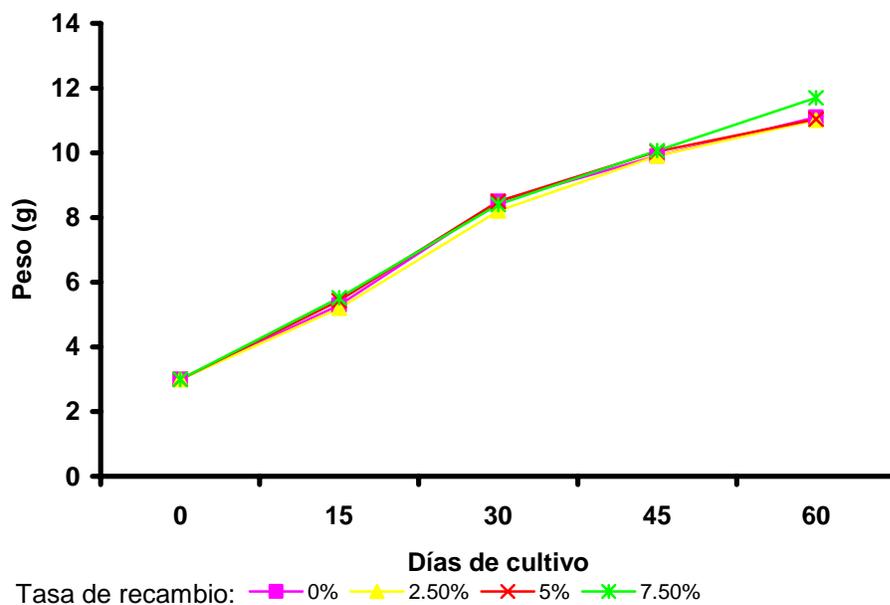


Figura 13. Incremento en peso a través del tiempo de juveniles de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de recambio de agua/día.

El peso promedio final más alto se presentó en el tratamiento con 7.5% de recambio de agua día⁻¹ (11.7 g), sin ser significativamente diferente ($P>0.05$) de los pesos promedio finales obtenidos en los demás tratamientos experimentales (Figura 14).

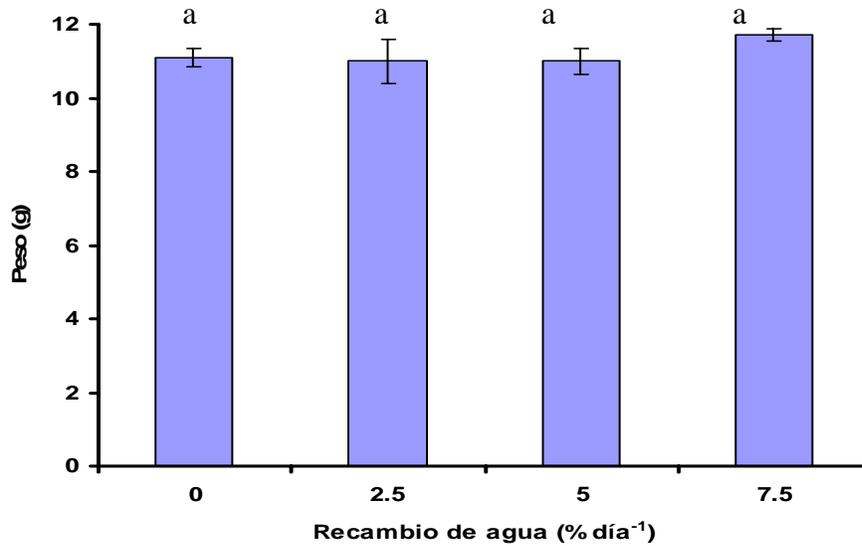


Figura 14. Peso promedio final (\pm desviación estándar, n=3) de juveniles de *C. quadricarinatus*, obtenido después del cultivo por 60 días con diferentes niveles de recambio de agua.

En términos de sobrevivencia no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$), (Figura 15).

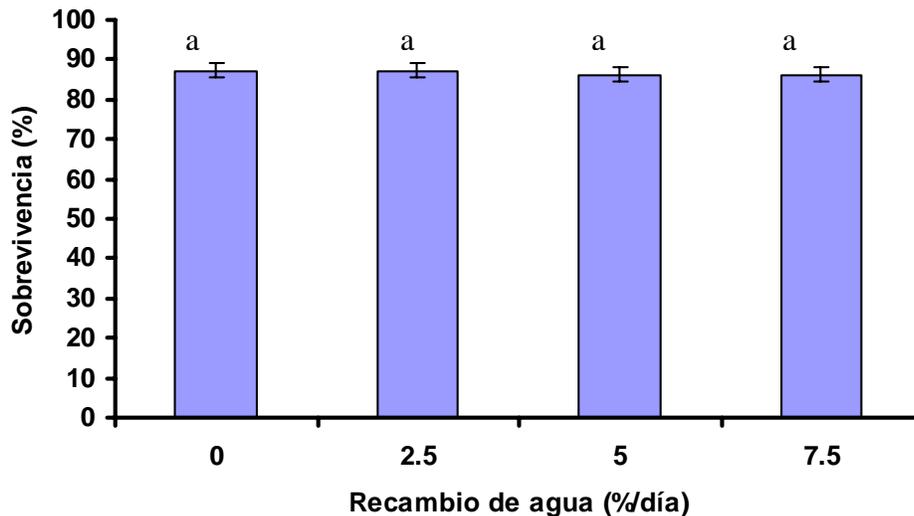


Figura 15. Sobrevivencia promedio final (\pm desviación estándar, n=3) obtenida a diferentes niveles de recambio de agua durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

La biomasa promedio final obtenida entre los tratamientos no mostró diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos. La biomasa más alta se obtuvo en el tratamiento con 7.5% de recambio de agua/día (152 g m^{-2}) y la más baja en el tratamiento con 5% de recambio de agua/día (143 g m^{-2}) (Figura 16).

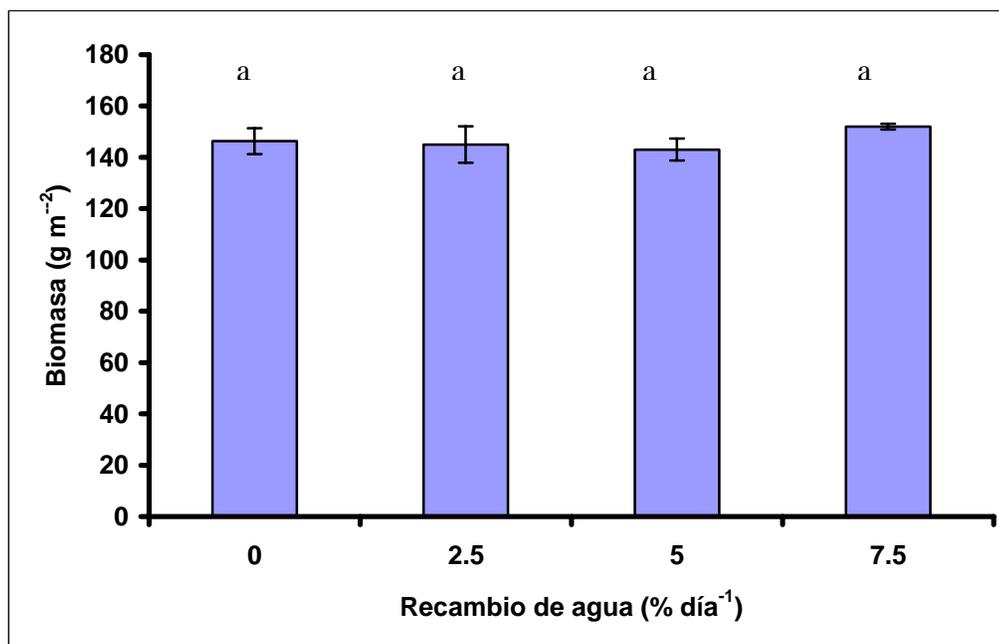


Figura 16. Biomasa promedio final (\pm desviación estándar, $n=3$) obtenida a diferentes niveles de recambio de agua durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* por 60 días.

El valor de TCA más alto se obtuvo en el tratamiento con 7.5% de recambio de agua/día (1.01 g sem^{-1}) y la más bajo en los tratamientos con 2.5 y 5% de recambio de agua día⁻¹ (0.94 g sem^{-1}). Sin embargo no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P>0.05$) (Tabla 2).

El factor de conversión alimenticia (FCA) fue similar entre los tratamientos, presentándose el valor más alto en el tratamiento con 7.5% de recambio de agua día⁻¹ (1.2). No hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2).

En la Tabla 2 se presenta un resumen de la respuesta productiva de los juveniles de *C. quadricarinatus*, en términos de crecimiento, sobrevivencia, biomasa, factor de conversión alimenticia (FCA) y tasa de crecimiento absoluta (TCA) para diferentes niveles de recambio de agua.

Tabla 2. Promedio (\pm desviación estándar, n=3) de los parámetros de producción de juveniles de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de recambio de agua, después de 60 días de cultivo.

% Recambio agua día ⁻¹	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	TCA (g sem ⁻¹)	Sobrevivencia (%)	Biomasa (g m ⁻²)	FCA
0	3.0 \pm 0.2 a	11.1 \pm 0.2 a	0.95 \pm 0.03 a	87 \pm 1.1 a	146.3 \pm 5.1 a	1.1 \pm 0.1 a
2.5	3.0 \pm 0.2 a	11.0 \pm 0.7 a	0.94 \pm 0.08 a	87 \pm 1.1 a	145.0 \pm 7.1 a	1.0 \pm 0.1 a
5	3.0 \pm 0.2 a	11.0 \pm 0.4 a	0.94 \pm 0.04 a	86 \pm 1.1 a	143.0 \pm 4.3 a	1.0 \pm 0.2 a
7.5	3.0 \pm 0.2 a	11.7 \pm 0.2 a	1.01 \pm 0.02 a	86 \pm 1.1 a	152.0 \pm 1.1 a	1.2 \pm 0.1 a

* Ninguno de los parámetros de producción fue significativamente diferente ($P > 0.05$) en función del porcentaje de recambio de agua.

7.2 Efecto del nivel de aireación en cultivo monosexual de preadultos de *C. quadricarinatus*.

7.2.1 Calidad del agua durante el cultivo monosexual de preadultos de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de aireación.

La calidad del agua durante el cultivo monosexual de preadultos de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de aireación mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en cuanto al nivel de oxígeno disuelto se refiere. Los niveles de oxígeno más bajos se presentaron en el tratamiento con 0 horas de aireación tanto para hembras como para machos (2.2 y 2 mg L^{-1} respectivamente). Los demás parámetros fisicoquímicos del agua no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) y se mantuvieron dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990; Masser y Rouse, 1997; Villarreal y Peláez, 1999). La Tabla 3 muestra los promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua durante la evaluación.

Tabla 3. Valores promedio (\pm desviación estándar, n=3) de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, durante el cultivo monosexual de preadultos de *C. quadricarinatus*, con diferentes niveles de aireación.

Parámetro	Hembras			Machos		
	0 hr	6 hr	12 hr	0 hr	6 hr	12 hr
Temperatura (°C)	28.0 \pm 0.6 a	28.2 \pm 0.5 a	28.2 \pm 0.5 a	28.0 \pm 0.5 a	28.0 \pm 0.5 a	28.2 \pm 0.5 a
Oxígeno (mg L ⁻¹)	2.2 \pm 1.2 a	6.6 \pm 2.2 b	6.7 \pm 2.4 b	2 \pm 1.2 a	6.4 \pm 2.4 b	7.2 \pm 2.5 b
PH	7.8 \pm 0.3 a	8 \pm 0.2 a	8.5 \pm 0.3 a	7.8 \pm 0.3 a	8.4 \pm 0.4 a	8.4 \pm 0.4 a
Alcalinidad (mg L ⁻¹)	278 \pm 21 a	280 \pm 20 a	284 \pm 20 a	276 \pm 21 a	284 \pm 20 a	282 \pm 20 a
Dureza Total (mg L ⁻¹)	145 \pm 17 a	160 \pm 15 a	152 \pm 15 a	148 \pm 17 a	150 \pm 17 a	152 \pm 15 a
Amonia (mg L ⁻¹)	0.26 \pm 0.07 a	0.17 \pm 0.05 a	0.18 \pm 0.05 a	0.24 \pm 0.05 a	0.14 \pm 0.05 a	0.18 \pm 0.05 a
Nitritos NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	0.150 \pm 0.018 a	0.019 \pm 0.002 a	0.020 \pm 0.017 a	0.140 \pm 0.18 a	0.020 \pm 0.014 a	0.020 \pm 0.017 a
Nitratos NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	3.2 \pm 1.2 a	2.1 \pm 1.6 a	2.2 \pm 1.2 a	3.2 \pm 1.2 a	1.8 \pm 1.2 a	2.0 \pm 1.4 a

* Valores promedio en cada renglón con la misma letra no son significativamente diferentes (P> 0.05).

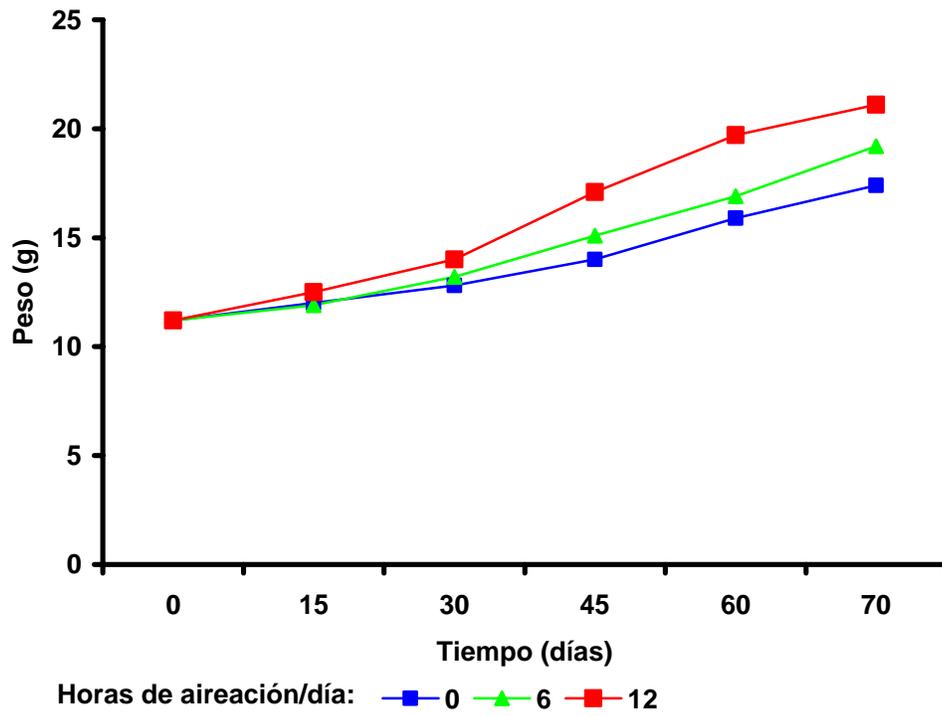
7.2.2 Respuesta productiva de preadultos de *C. quadricarinatus* a diferentes niveles de aireación en cultivo monosexual.

El crecimiento promedio de machos fue superior al de las hembras ($P < 0.05$). Adicionalmente, el peso promedio final de preadultos de *C. quadricarinatus* fue significativamente diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Figura 17). El peso promedio final más alto se presentó en machos y hembras con 12 horas de aireación día⁻¹ (23.4 y 21.8 g respectivamente), siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) de los pesos obtenidos con 6 y 0 horas de aireación día⁻¹ para ambos sexos (Tabla 4).

La sobrevivencia promedio final no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos y varió de 93 a 95%, (Tabla 4).

Por otra parte, la biomasa promedio final más alta se obtuvo en machos y hembras con 12 horas de aireación día⁻¹ (191 y 178 g m⁻² respectivamente), siendo significativamente diferente ($P < 0.05$) de las biomásas obtenidas con 6 y 0 horas de aireación día⁻¹ (Tabla 4). El factor de conversión alimenticia (FCA) fue similar entre los tratamientos en ambos sexos (Tabla 4).

(a) Hembras



(b) Machos

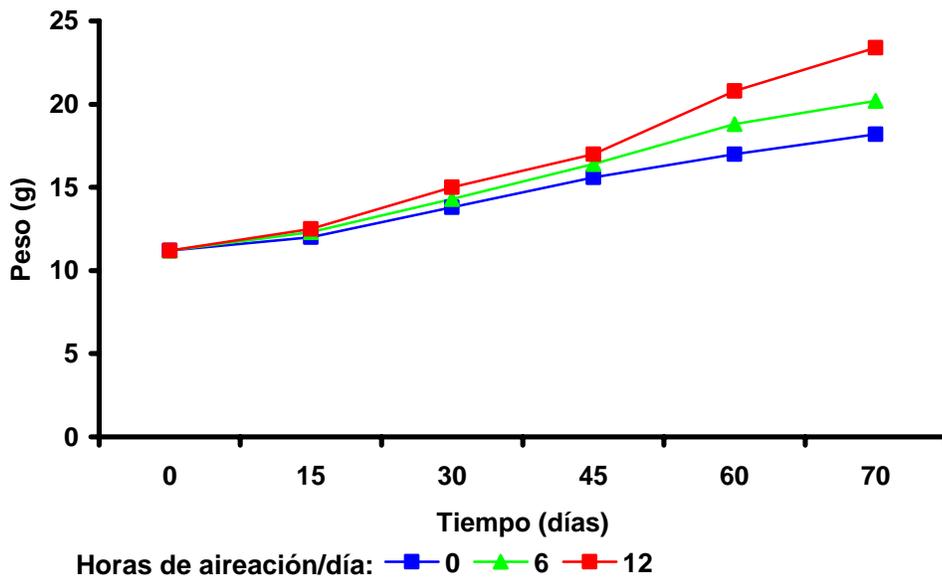


Figura 17. Crecimiento de preadultos (a) hembras y (b) machos de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de aireación.

En la Tabla 4 se presenta la respuesta productiva de preadultos de *C. quadricarinatus*, con diferentes niveles de aireación y en cultivo monosexual.

Tabla 4. Promedio (\pm desviación estándar, n=3) de los parámetros de producción de preadultos de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de aireación, después de 70 días de cultivo monosexual.

Horas de Aireación/día	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Sobrevivencia (%)	TCA (g sem ⁻¹)	Biomasa (g m ⁻²)	FCA
Hembras						
0	11.2 \pm 0.5 a	17.4 \pm 3.5 a	93.7 \pm 4.8 a	0.72 \pm 0.76 a	139.3 \pm 7.3 a	1.1 \pm 0.10 a
6	11.2 \pm 0.5 a	19.2 \pm 3.0 b	93.7 \pm 4.8 a	0.93 \pm 0.06 b	155.7 \pm 4.9 b	1.3 \pm 0.08 a
12	11.2 \pm 0.5 a	21.8 \pm 3.0 c	93.7 \pm 2.5 a	1.48 \pm 0.04 c	178.0 \pm 3.6 c	1.4 \pm 0.08 a
Machos						
0	11.2 \pm 0.5 a	18.1 \pm 3.2 a	95.0 \pm 0.0 a	0.81 \pm 0.08 a	155.2 \pm 3.0 a	1.2 \pm 0.1 a
6	11.2 \pm 0.5 a	20.2 \pm 3.4 b	93.8 \pm 2.5 a	1.05 \pm 0.08 b	171.0 \pm 7.6 b	1.2 \pm 0.0 a
12	11.2 \pm 0.5 a	23.4 \pm 4.0 c	95.0 \pm 4.1 a	1.41 \pm 0.04 c	191.3 \pm 6.0 c	1.5 \pm 0.1 a

* Valores promedio en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes (P> 0.05).

7.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de *Cherax quadricarinatus*.

7.3.1 Calidad del agua en el cultivo de juveniles de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de aireación.

La calidad del agua durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de aireación no mostró diferencias significativas ($P>0.05$), y se mantuvo dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990a; Masser y Rouse, 1997; Villarreal y Peláez, 1999). La Tabla 5 muestra los promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Tabla 5. Valores promedio (\pm desviación estándar, n=3) de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, en el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus*, con diferentes niveles de aireación.

Parámetro	Horas de aireación día ⁻¹			
	0	6	12	24
Temperatura (°C)	28.0 \pm 3.2 a	28.2 \pm 3.0 a	28.2 \pm 3.1 a	28.0 \pm 3.0 a
Oxígeno (mg L ⁻¹) 7:30 a.m.	8.0 \pm 1.5 a	8.9 \pm 0.9 a	8.8 \pm 1.1 a	9.0 \pm 1.0 a
Oxígeno (mg L ⁻¹) 4:00 p.m.	9.8 \pm 0.9 a	10.3 \pm 1.2 a	10.7 \pm 1.1 a	11.0 \pm 1.3 a
Ph	8.4 \pm 0.23 a	8.6 \pm 0.20 a	8.5 \pm 0.19 a	8.3 \pm 0.18 a
Alcalinidad total (mg L ⁻¹)	280 \pm 185 a	280 \pm 186 a	280 \pm 186 a	282 \pm 186 a
Dureza total (mg L ⁻¹)	150 \pm 73 a	152 \pm 70 a	150 \pm 73 s	155 \pm 71 a
Transparencia (cm)	45.2 \pm 6.5 a	43.0 \pm 6.0 a	40.3 \pm 7.3 a	40.5 \pm 8.5 a
Amonia (mg L ⁻¹)	0.06 \pm 0.07 a	0.06 \pm 0.06 a	0.05 \pm 0.04 a	0.05 \pm 0.05 a
Nitritos NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	0.02 \pm 0.05 a	0.02 \pm 0.05 a	0.02 \pm 0.05 a	0.02 \pm 0.05 a
Nitratos NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	0.22 \pm 0.10 a	0.22 \pm 0.09 a	0.21 \pm 0.11 a	0.20 \pm 0.11 a

* Valores promedio en cada renglón con la misma letra no son significativamente diferentes (P>0.05).

7.3.2 Respuesta productiva de juveniles de *C. quadricarinatus* a diferentes niveles de aireación.

El peso promedio final de *C. quadricarinatus*, fue significativamente diferente ($P < 0.05$) y se relacionó directamente al nivel de aireación proporcionado en los tratamientos. La Figura 18 muestra el incremento en peso de los organismos experimentales en un período de 84 días de cultivo con diferentes niveles de aireación. A los 21 días el incremento en peso en el tratamiento de 0 horas de aireación día⁻¹ fue significativamente menor por primera vez. Posteriormente, a los 56 días, el tratamiento con 6 horas de aireación día⁻¹ fue significativamente menor que los tratamientos con 12 y 24 horas de aireación.

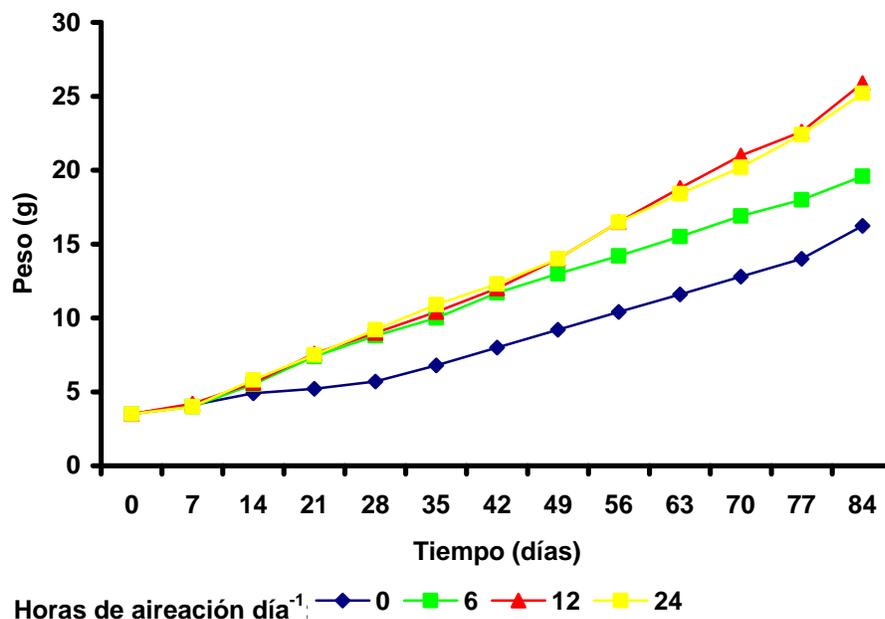


Figura 18. Incremento en peso a través del tiempo durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de aireación.

A medida que se incrementó el nivel de aireación, el peso de juveniles de *C. quadricarinatus* se incrementó (Figura 19), la sobrevivencia no fue afectada (Figura 20) y la biomasa aumentó (Figura 21).

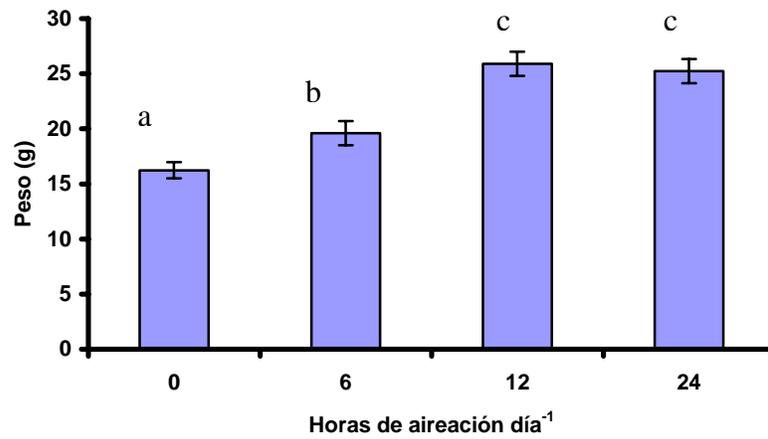


Figura 19. Peso promedio final (\pm desviación estándar, $n=3$) obtenido a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus* por 84 días.

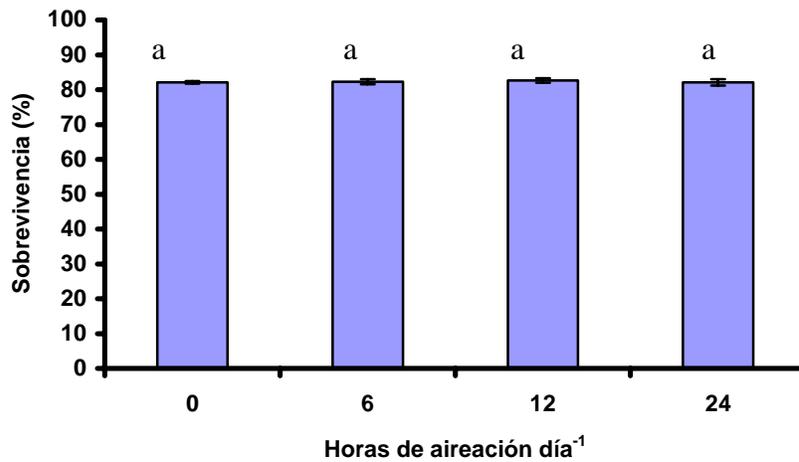


Figura 20. Sobrevivencia promedio final (\pm desviación estándar, $n=3$) obtenida a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus* por 84 días.

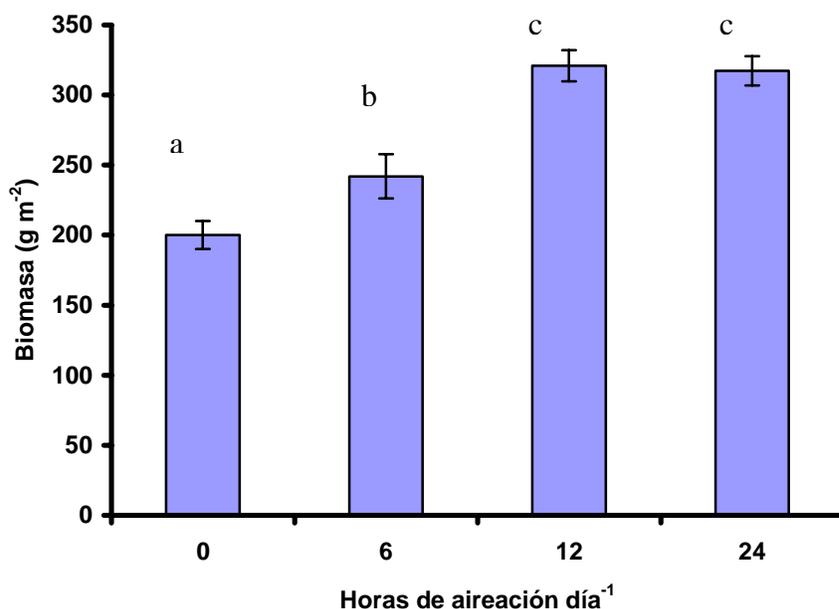


Figura 21. Biomasa promedio final (\pm desviación estándar, $n=3$) obtenida a diferentes niveles de aireación durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus* por 84 días.

El peso promedio final más alto se presentó en el tratamiento con 12 hr de aireación día⁻¹ (25.90 g), con una TCA de 1.81 g semana⁻¹. Sin embargo, el valor no fue significativamente diferente ($P>0.05$) del peso promedio final obtenido con 24 h de aireación/día. A 6 y 0 h de aireación día⁻¹ se obtuvieron pesos y TCA's significativamente menores ($P<0.05$) respecto a los otros niveles de aireación (Tabla 6), siendo el tratamiento de 0 h el que presentó valores significativamente más bajos.

Por otro lado, la sobrevivencia final no fue significativamente diferente ($P>0.05$) (Tabla 6).

La biomasa final fue significativamente diferente ($P<0.05$) entre los tratamientos, siendo más altos los valores a los niveles de aireación de 12 y 24 h por día (321 y 317 g m⁻² respectivamente) y el más bajo a 0 h de aireación día⁻¹ (Tabla 6).

Tabla 6. Promedio (\pm desviación estándar, n=3) de los parámetros de producción de juveniles de *C. quadricarinatus* cultivados con diferentes niveles de aireación.

Aireación (h día ⁻¹)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Sobrevivencia (%)	TCA (g sem ⁻¹)	Biomasa (g m ⁻²)	FCA
0	3.5 \pm 0.5 a	16.24 \pm 6.7 a	82.13 \pm 0.4 a	1.06 \pm 0.06 a	200.10 \pm 9.9 a	0.72 \pm 0.02 a
6	3.5 \pm 0.5 a	19.60 \pm 8.7 b	82.26 \pm 0.8 a	1.34 \pm 0.09 b	242.00 \pm 15.8 b	0.72 \pm 0.01 a
12	3.5 \pm 0.5 a	25.89 \pm 9.7 c	82.63 \pm 0.7 a	1.81 \pm 0.09 c	321.00 \pm 11.1 c	0.75 \pm 0.02 a
24	3.5 \pm 0.5 a	25.24 \pm 8.6 c	82.13 \pm 0.9 a	1.52 \pm 0.09 c	317.21 \pm 10.4 c	0.75 \pm 0.02 a

* Valores promedio en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes (P> 0.05).

Los factores de conversión alimenticia fueron muy similares para los diferentes niveles de aireación evaluados y estuvieron dentro del intervalo de 0.72 a 0.75 (Tabla 4).

7.4 Efecto de diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

7.4.1 Estabilidad, humedad y análisis químicos del alimento comercial utilizado.

La Tabla 7 muestra que el alimento expuesto a 6 horas de inmersión en agua destilada, presenta un porcentaje de estabilidad (85.4%) ligeramente más alto, que el alimento que está 24 horas en el agua (84.2%). Sin embargo, las diferencias no son significativas ($P > 0.05$). Por otro lado, para establecer niveles de lixiviación de nutrientes, se evaluó la cantidad de proteínas, carbohidratos y lípidos perdidos por el tiempo de inmersión (Tabla 7). La permanencia del alimento en agua no provocó cambios significativos en el contenido de proteínas ni lípidos. Sin embargo, el contenido de carbohidratos si presentó diferencias significativas ($P < 0.05$), siendo más bajo el valor después de 24 h de inmersión en agua (26.7 mg g^{-1}) (Tabla 7).

Tabla 7. Lixiviación de proteínas, carbohidratos y lípidos totales (\pm desviación estándar, n=3), del alimento comercial después de 6 y 24 horas de inmersión en agua destilada.

Tiempo de inmersión	Estabilidad (%)	Humedad	Proteínas (mg g ⁻¹)	Carbohidratos (mg g ⁻¹)	Lípidos (mg g ⁻¹)
Control					
(0 horas)	100%	6.47 \pm 0.16 a	373.54 \pm 52.80 a	167.76 \pm 28.03 a	78.25 \pm 4.79a
6 horas	85.4 \pm 0.36 a	6.47 \pm 0.16 a	276.26 \pm 57.33 a	42.51 \pm 3.54 b	73.35 \pm 3.89a
24 horas	84.2 \pm 0.26 a	6.47 \pm 0.16 a	278.44 \pm 63.39 a	26.98 \pm 3.34 c	65.66 \pm 9.43a

* Valores promedio en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes (P> 0.05).

7.4.2 Calidad de agua en el cultivo de *C. quadricarinatus* con dos estrategias de alimentación.

Los parámetros de calidad de agua durante la evaluación experimental se mantuvieron dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie, con excepción de la temperatura, la cual se encuentra por debajo del intervalo óptimo. La Tabla 8 muestra los promedios de los parámetros fisicoquímicos registrados durante el periodo de cultivo de 75 días.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre las dos estrategias de alimentación para ninguno de los parámetros registrados. Sin embargo, se puede observar una tendencia hacia una mayor concentración de amonio, nitritos, alcalinidad y dureza en los estanques donde se aplicó el tratamiento de una alimentación al día.

Tabla 8. Valores promedio (\pm desviación estándar, n=2) de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, en estanques de cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* después de 75 días de cultivo, evaluando 2 estrategias de alimentación.

Parámetro	Alimentación	Alimentación
	1 vez al día	4 veces al día
Temperatura (°C)	22.3 \pm 3.0 a	22.3 \pm 3.0 a
Oxígeno (mg L ⁻¹)	9.92 \pm 0.65 a	10.02 \pm 0.77 a
pH	8.90 \pm 0.25 a	8.99 \pm 0.30 a
Alcalinidad (mg L ⁻¹)	92.45 \pm 15.38 a	85.57 \pm 21.40 a
Dureza (mg L ⁻¹)	731.56 \pm 165.42a	713.82 \pm 154.38 a
Amonia (mg L ⁻¹)	0.149 \pm 0.194 a	0.054 \pm 0.069 a
Nitritos (mg L ⁻¹)	0.26 \pm 0.31 a	0.14 \pm 0.21 a
Nitratos (mg L ⁻¹)	1.68 \pm 2.77 a	2.32 \pm 2.91 a

* Valores promedio en cada renglón con la misma letra no son significativamente diferentes (P > 0.05).

La Figura 22 muestra el comportamiento de la temperatura durante los 75 días de evaluación experimental, teniendo un promedio máximo de 27.3 °C y mínimo de 18.1 °C. A partir del día 45 del cultivo la temperatura se encontró por debajo del intervalo óptimo reportado para el cultivo, que va entre 23 y 33 °C (Jones, 1990a; King, 1994; Masser y Rouse, 1997).

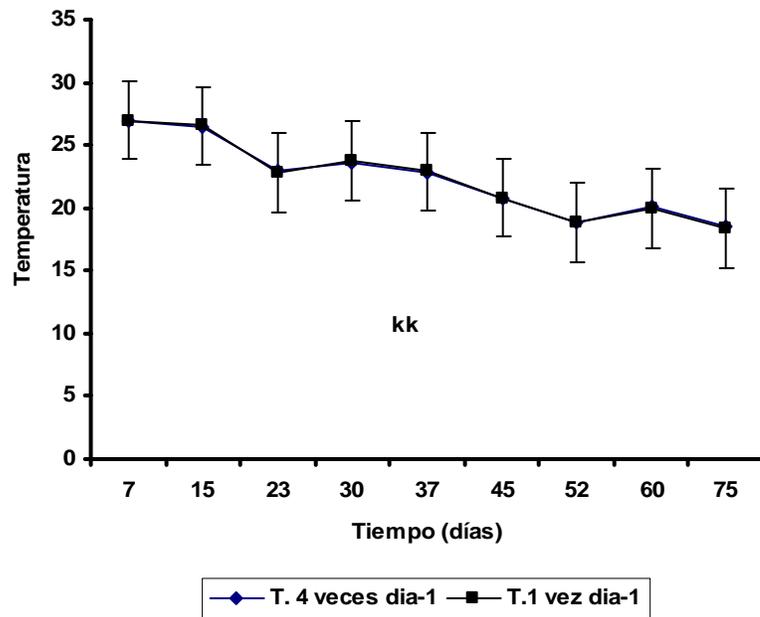
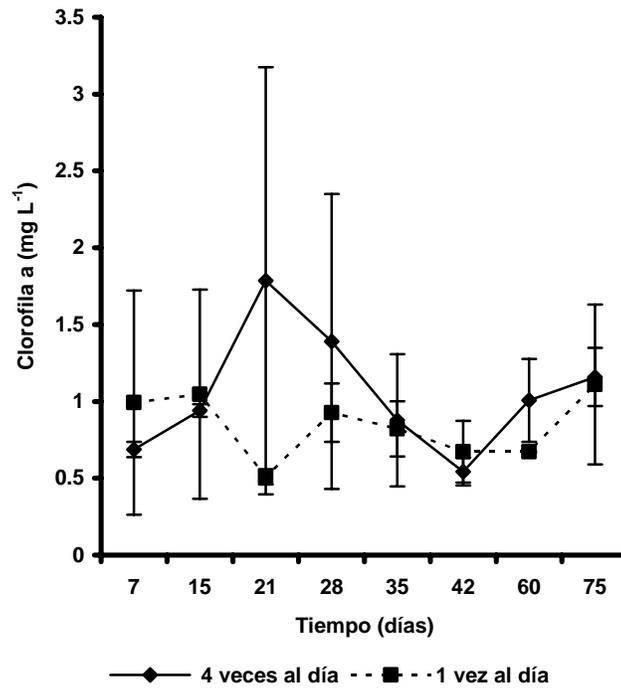


Figura 22. Temperatura promedio del agua (\pm desviación estándar, $n=2$) durante 75 días de cultivo de *C. quadricarinatus* en estanques donde se evaluaron dos estrategias de alimentación.

7.4.3 Niveles de clorofila *a* y *b* en estanques de cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus*, donde se evaluaron dos estrategias de alimentación.

No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en cuanto a las concentraciones de clorofila *a* y *b*, sin embargo, se puede notar que al día 21, 28 y 60 hubo valores promedio más altos de clorofila *a* cuando se alimentó 4 veces al día (Figura 23).

(a) Clorofila a



(b) Clorofila b

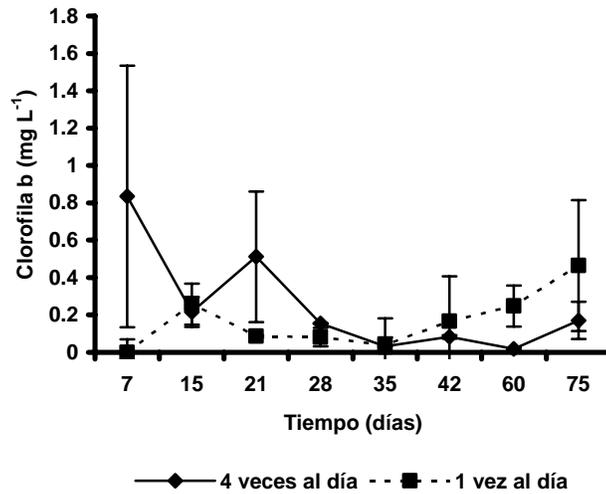


Figura 23. Niveles de clorofila a y b (\pm error estándar, n=2) durante el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus* en estanques con estrategias diferentes de alimentación.

Con respecto a la concentración de clorofila *b*, se puede observar que en las primeras semanas de experimento se tiene una mayor concentración en los estanques de alimentación de 4 veces al día, mientras que en las últimas semanas se nota un incremento marginal en el tratamiento de 1 vez al día (Figura 23).

7.4.4 Respuesta productiva de juveniles de *C. quadricarinatus* en estanques con estrategias diferentes de alimentación.

La Figura 24 muestra el incremento de peso de los juveniles de *C. quadricarinatus*, durante un periodo de 75 días de cultivo. Durante los primeros 45 días no se establecieron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, los pesos promedio de *C. quadricarinatus*, registrados a los 60 y 75 días fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Figura 24).

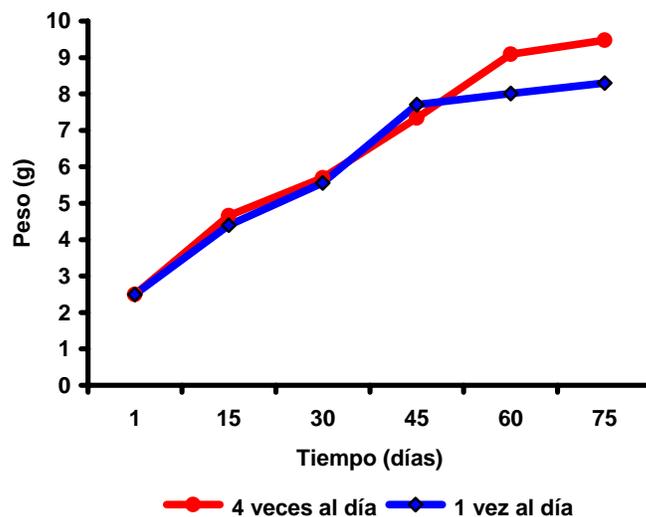


Figura 24.- Incremento en peso a través del tiempo durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*, alimentados con estrategias diferentes de alimentación (1 vez por día, 4 veces por día).

En la Tabla 9 se presenta la respuesta productiva de juveniles de *C. quadricarinatus*, alimentados con dos estrategias de alimentación.

Tabla 9. Promedios (\pm desviación estándar, n=2) de los parámetros de producción de juveniles de *C. quadricarinatus* cultivado con diferentes estrategias de alimentación.

Alimentación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Sobrevivencia (%)	TCA g sem ⁻¹	TCE (%)	Biomasa (g m ⁻²)	FCA
4 veces día ⁻¹	2.5 \pm 0.5 a	9.48 \pm 0.23 a	75.17 \pm 3.54 a	0.65 \pm 0.02 a	1.78 \pm 0.03 a	106.7 \pm 2.4 a	1.24 \pm 0.07 a
1 vez día ⁻¹	2.5 \pm 0.5 a	8.30 \pm 0.93 b	77.00 \pm 1.51 a	0.54 \pm 0.09 b	1.60 \pm 0.14 b	95.7 \pm 8.9 b	1.39 \pm 0.06 a

* Valores promedio en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes (P> 0.05).

Se observa que hay diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el peso final, siendo este mayor alimentando 4 veces día⁻¹. Respecto a la sobrevivencia no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Las tasas de crecimiento (TCA y TCE) y la biomasa fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), presentándose los valores más altos al alimentar 4 veces al día. El FCA, tuvo un promedio final mayor alimentando 1 vez día⁻¹, no siendo significativamente diferente del tratamiento con 4 alimentaciones día⁻¹.

7.4.5 Análisis químicos proximales

7.4.5.1 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en músculo.

En general no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Figuras 25, 26 y 27). Sin embargo se puede observar que la concentración promedio mayor de proteínas, lípidos y carbohidratos se presentó para el tratamiento de alimentación de 4 veces al día.

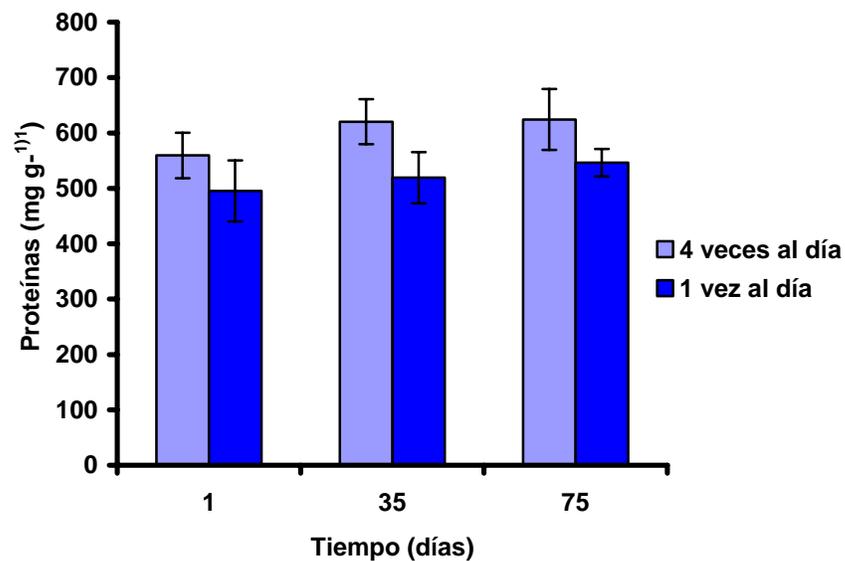


Figura 25. Concentración de proteínas (\pm error estándar, $n=3$) en músculo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

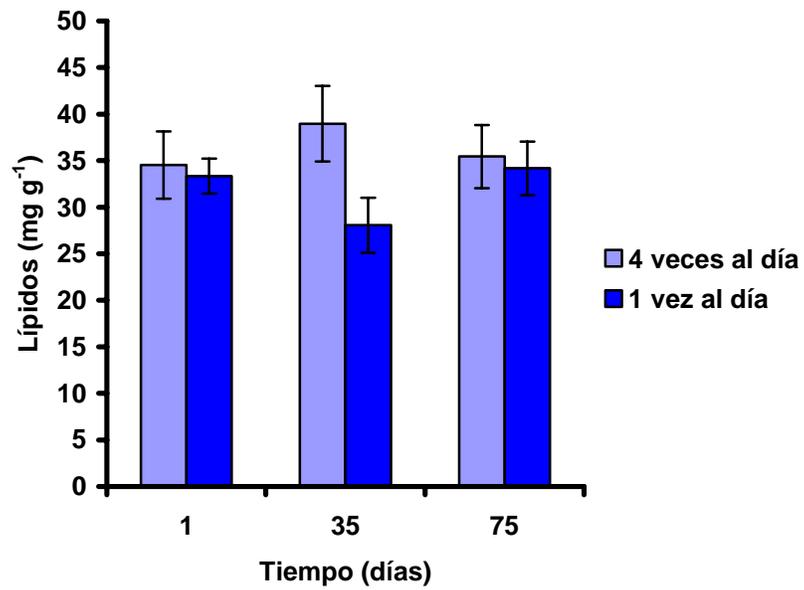


Figura 26. Concentración de lípidos (\pm error estándar, n=3) en músculo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

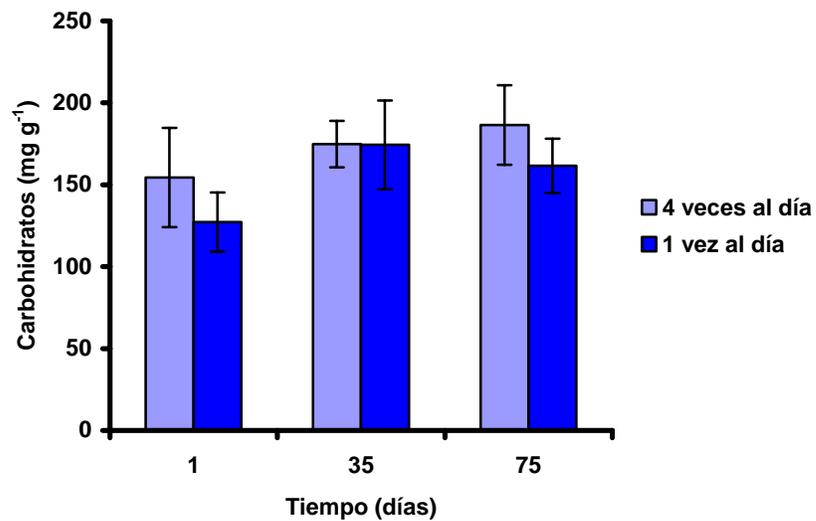


Figura 27. Concentración de carbohidratos (\pm error estándar, n=3) en músculo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

7.4.5.2 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en tracto digestivo.

En el tracto digestivo se pudo observar que hay una concentración promedio mayor en proteínas y carbohidratos al alimentar 1 vez al día; sin embargo, estas no fueron significativamente diferentes ($P>0.05$) respecto al tratamiento de alimentación de 4 veces al día (Figura 28).

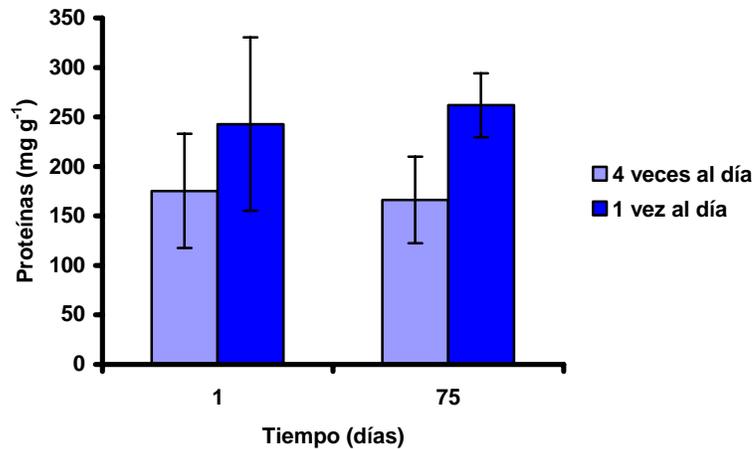


Figura 28. Concentración de proteínas (\pm error estándar, $n=3$) en tracto digestivo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

Por otro lado la concentración de lípidos después de 75 días de cultivo fue significativamente mayor al alimentar 1 vez por día (Figura 29).

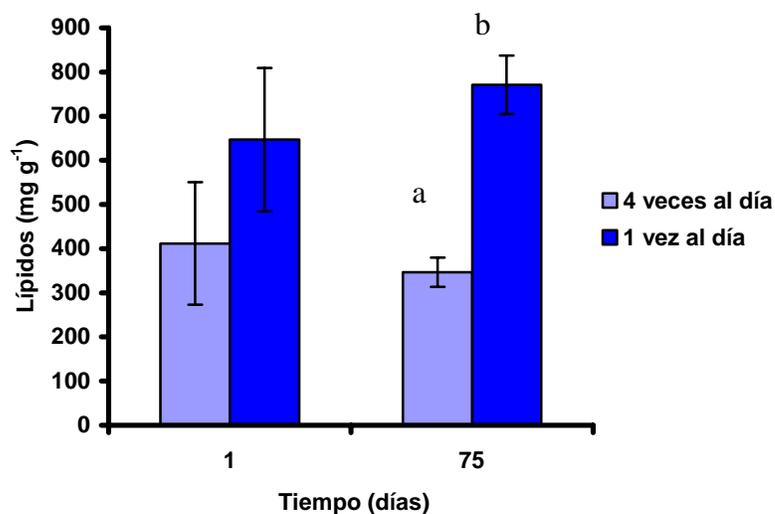


Figura 29. Concentración de lípidos (\pm error estándar, $n=3$) en tracto digestivo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

La concentración de carbohidratos después de 75 días de cultivo fue significativamente mayor al alimentar 1 vez por día (Figura 30).

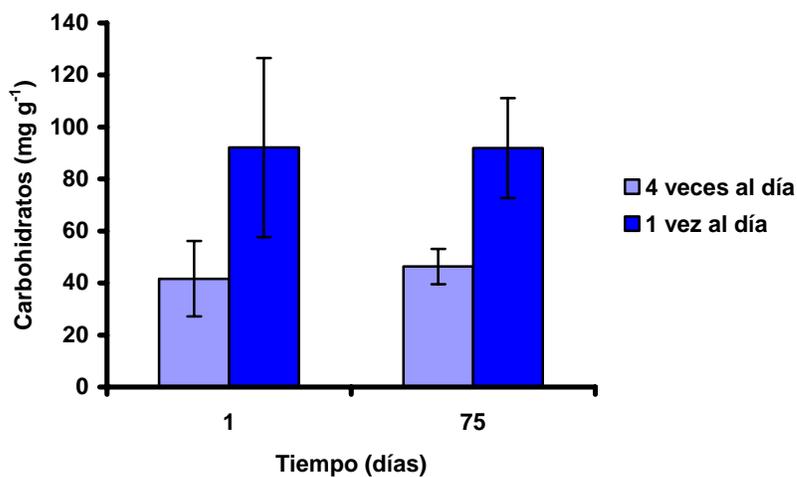


Figura 30. Concentración de carbohidratos (\pm error estándar, $n=3$) en tracto digestivo de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

7.4.5.3 Concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos en hepatopáncreas.

En cuanto al hepatopáncreas, no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de proteínas y lípidos para cada muestreo (Figuras 31 y 32 respectivamente). Sin embargo, hubo una disminución en el nivel de éstos a los 35 días con respecto al valor inicial, probablemente relacionado con la transferencia de proteína al músculo durante el crecimiento de los organismos, y una ligera recuperación a los 75 días, producto de la caída de la temperatura. Para carbohidratos, no se presenta una recuperación a los 75 días, lo que puede indicar una demanda energética a bajas temperaturas, cubierta por carbohidratos (Figura 33).

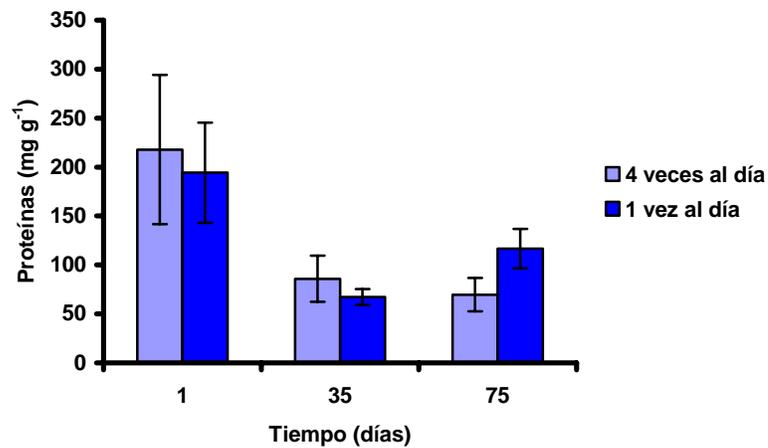


Figura 31. Concentración de proteínas (\pm error estándar, n=3) en hepatopáncreas de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

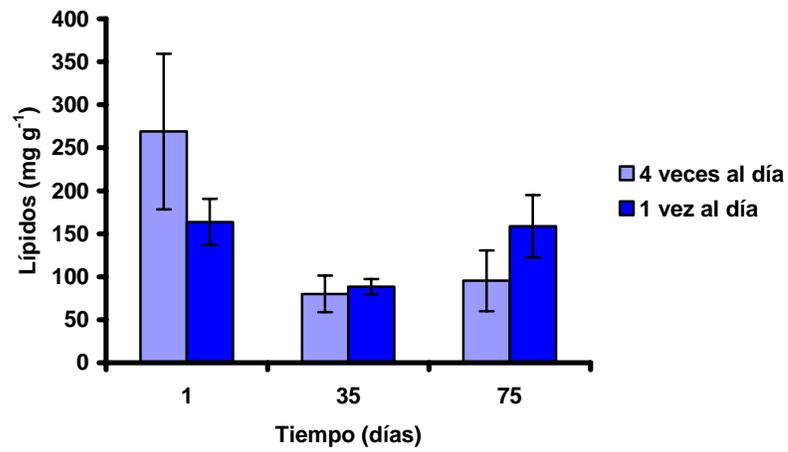


Figura 32. Concentraciones de lípidos (\pm error estándar, n=3) en hepatopáncreas de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

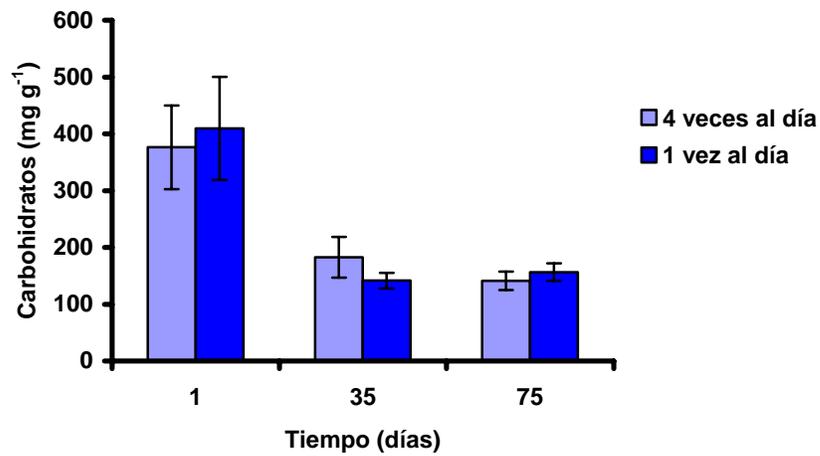


Figura 33. Concentración de carbohidratos (\pm error estándar, n=3) en hepatopáncreas de *C. quadricarinatus* con estrategias diferentes de alimentación.

7.5 Análisis económico.

7.5.1 Impacto del recambio de agua, la aireación y el alimento en el costo de producción.

A fin de realizar un análisis económico de ciertos criterios de producción, se seleccionó como sistema de producción “no optimizado” (SPNO) las propuestas de Hutchings y Villarreal (1996) para Ecuador y Villarreal y Peláez (1999) para México.

Por otro lado, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se obtuvo una optimización en cuanto a los niveles de recambio de agua, aireación y alimentación utilizados en el sistema de cultivo de *C. quadricarinatus*. A esto se le consideró como sistema de producción “optimizado” (SPO). La Tabla 10 muestra los parámetros tecnológicos para cada sistema de cultivo comparados en el presente análisis.

Tabla 10. Parámetros tecnológicos para el cultivo de *C. quadricarinatus*, con SPNO y SPO.

Parámetros tecnológicos	SPNO	SPO
Recambio de agua (% día ⁻¹)	5	0.015
Aireación (horas día ⁻¹)	24	12
Alimentación (veces día ⁻¹)	1	4

En el SPO se observa una reducción en el nivel de recambio de agua quedando en 0.015 % día⁻¹, el cual representa las pérdidas por evaporación resultante en la evaluación de recambio de agua en el presente trabajo. La aireación suplementaria se redujo de 24 a 12 horas día⁻¹, sin afectar los parámetros productivos de la

especie, tanto para juveniles como para preadultos de *C. quadricarinatus*. La alimentación en el SPO se incrementa a 4 veces día⁻¹.

La Tabla 11 muestra los costos de inversión y costos de operación anual para el cultivo de *C. quadricarinatus*, con SPNO y SPO para un tamaño de granja de 10 ha de espejo de agua.

Tabla 11. Costos de inversión y operación anual para el cultivo de *C. quadricarinatus*, con SPNO y SPO para un tamaño de granja de 10 ha.

	SPNO	SPO
Costos de Inversión	(\$)	(\$)
Terreno	250,000	250,000
Construcción estanques	3,084,140	3,084,140
Pozo equipado	500,000	350,000
Generador eléctrico	528,000	528,000
Material e instalación eléctrica	1,675,000	1,675,000
Edificios	225,000	225,000
Escondrijos	1,066,460	1,066,460
Equipo	982,382	982,382
Entrenamiento y manual	180,000	180,000
Reproductores	1,875,000	1,875,000
Subtotal	10,365,982	10,215,982
Costos de operación	(\$)	(\$)
<i>Costos fijos</i>		
Personal	1,010,000	1,130,000
Juveniles	712,972	712,972
Investigación y desarrollo	408,000	408,000
Combustible y mnto. vehículo	67,837	67,837
Servicios y sum. para oficina	39,000	39,000
<i>Costso variables</i>		
Alimento	538,050	536,452
Electricidad	1,197,000	468,825
Subtotal	3,972,859	3,363,086
TOTAL	14,338,841	13,579,068

Con base en la Tabla 11, los costos de inversión son más bajos (\$ 150,000 menos) en el SPO, por que en este se utiliza una bomba de menor caballaje (100 HP vs 50

HP). Los costos de operación muestran diferencias en lo que respecta a los costos de personal, alimento y electricidad para el bombeo de agua y el sistema de aireación, producto de la optimización del sistema. EL Anexo I muestra a detalle la base de cálculo de los montos considerados en la Tabla 11 para el SPNO y el SPO respectivamente.

En el rubro de personal, el monto más alto es para el sistema SPO. Lo anterior es debido a que para la aplicación de 4 alimentaciones día⁻¹ se requiere de 2 personas adicionales respecto al SPNO para llevar a cabo dicha labor. En cuanto al alimento se observa un ahorro de \$ 1,598 en el SPO por concepto de disminución del FCA en 11%; cabe a clarar que la biomasa en este sistema es 25.5% más alta que en el SPNO. En electricidad se logra un ahorro de \$ 728,175, producto del cambio en el tamaño de bomba, disminución en el nivel de recambio de agua y aireación en el SPO.

Las Tablas 12 y 13 muestran los flujos de caja para un periodo de 10 años para el análisis económico del proyecto y para el cálculo de la TIR para el SPNO y el SPO respectivamente.

La Tabla 14 muestra los parámetros productivos, utilizados en el análisis económico y los parámetros económicos y financieros resultantes de dicho análisis, con las estrategias de SPNO y SPO para un tamaño de granja de 10 ha.

Tabla 12. Flujo de caja para un periodo de 10 años para el análisis económico del proyecto y para el cálculo de la TIR, utilizando el SPNO.

FLUJO DE CAJA											
ITEM/AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPACIDAD INSTALADA		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INVERSION-REINVERSION	(10,365,982.00)										
INGRESOS POR VENTA (M)	-	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00	7,308,000.00
COSTOS DE OPERACION		(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)	(3,972,859.99)
DE PRECIACION		-89,307.45	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	-89,307	-89,307
UTILIDAD BRUTA		3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,832.55	3,245,833	3,245,833
IMPUESTO (10%)		-324,583.26	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)	(324,583.26)
UTILIDAD NETA		2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249	2,921,249
FLUJO NETO DE CAJA	(10,365,982.00)	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249.30	2,921,249	2,921,249
FLUJO ACTUALIZADO	(10,365,982.00)	2,585,176.37	2,287,766.70	2,024,572.30	1,791,656.90	1,585,537.08	1,403,130.16	1,241,708.11	1,098,856.73	972,440	860,566
		-7,780,805.63	(5,493,038.93)	(3,468,466.64)	(1,676,809.73)	(91,272.65)	1,311,857.51	2,553,565.61	3,652,422.34	4,624,862	5,485,428
Kg producidos		52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00	52,500.00
Costo de operación		-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99	-3,972,859.99
Costo de producción/kg		75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67
INDICADORES DE RENTABILIDAD											
Tasa de descuento	13.0%										
VAN	5,485,428										
TIR	25.2%										
PRC	6 años										

Tabla 13. Flujo de caja para un periodo de 10 años para el análisis económico del proyecto y para el cálculo de la TIR, utilizando el SPO.

FLUJO DE CAJA										
ÍTEM/ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAPACIDAD INSTALADA		1	1	1	1	1	1	1	1	1
INVERSION-REINVERSION	(10,215,982.00)									
INGRESOS POR VENTA (MN)	-	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00	8,367,660.00
COSTOS DE OPERACION		(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)	(3,363,086.50)
DEPRECIACION		-89,307.45	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	(89,307.45)	-89,307
UTILIDAD BRUTA		4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266.05	4,915,266
IMPUESTO (10%)		-491,526.60	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)	(491,526.60)
UTILIDAD NETA		4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739
FLUJO NETO DE CAJA	(10,215,982.00)	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739.44	4,423,739
FLUJO ACTUALIZADO	(10,215,982.00)	3,914,813.66	3,464,436.87	3,065,873.34	2,713,162.25	2,401,028.54	2,124,804.01	1,880,357.53	1,664,033.22	1,472,596
		-6,301,168.34	(2,836,731.46)	229,141.87	2,942,304.12	5,343,332.65	7,468,136.67	9,348,494.20	11,012,527.42	12,485,123
Kg producidos		60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50	60,112.50
Costo de operación		-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50	-3,363,086.50
Costo de producción/kg		55.95	55.95	55.95	55.95	55.95	55.95	55.95	55.95	55.95
INDICADORES DE RENTABILIDAD										
Tasa de descuento	13.0%									
VAN	13,788,305									
TIR	42.0%									
PRC	3 años									

Tabla 14. Parámetros productivos y económicos, utilizados en el análisis económico e indicadores financieros resultantes de dicho análisis, para el cultivo de *C. quadricarinatus* en una granja de 10 ha (con 5 ha de engorda). En los esquemas de SPNO y SPO.

<i>Parámetros productivos</i>	SPNO	SPO
Ciclos/año	3	3
FCA	1	0.89
Has de engorda	5	5
Kg ha ⁻¹	3,500	4,007
Producción anual (kg)	52,500	60,112
<i>Parámetros económicos</i>		
Inversión (\$)	10,365,982	10,215,982
Costo de operación (\$)	3,972,859	3,363,086
Precio de venta (USD\$)*	12	12
Ingresos por venta anual (USD\$)	630,000	721,350
Ingresos por venta anual (\$)	7,308,000	8,367,660
Utilidad neta (\$)	2,921,249	4,423,739
<i>Indicadores financieros</i>		
Tasa de descuento (%)	13	13
Valor actual neto (VAN) (\$)	5,485,428	13,788,305
Tasa interna de retorno (TIR) (%)	25.2	42.0
Periodo de recuperación de capital (PRC) (años)	6	3
Costo de producción kg ⁻¹ (\$)	75.7	55.9
Costo de producción kg ⁻¹ (USD\$)	6.5	4.8
Ganancia kg ⁻¹ (\$)	63.5	83.3

* Valor del dólar: \$ 11.60 M.N.

En el SPO se considera una reducción de 11% en el factor de conversión alimenticia, producto de un mejor aprovechamiento del alimento por parte de los organismos. Por otro lado, se observa un incremento de 13 % en la biomasa producida (507 kg ha⁻¹),

lo cual permite pasar de 52,500 kg anuales en el SPNO a 60,112.50 kg anuales en el SPO.

En cuanto a los parámetros económicos, el SPO muestra las siguientes ventajas respecto al SPNO:

- 1) Reducción de los costos de inversión de \$ 150,000.00 (1.5%).
- 2) Reducción de los costos anuales de operación de \$609,773.00 (15%).
- 3) Incremento de \$1,059,660.00 (13%) en el ingreso por ventas anuales; y
- 4) Incremento de \$1,502,490.00 (34%) en la utilidad neta anual (Tabla 14).

Los indicadores financieros muestran las siguientes ventajas del SPO respecto al SPNO:

- 1) Incremento de \$8,302,877.00 (60%) en el VAN;
- 2) Incremento de 17.3% en la TIR, lo que representa un 40% más que el SPNO;
- 3) Disminución de 3 años en el periodo de recuperación de capital;
- 4) El costo de producción kg^{-1} disminuye \$19.8 (26%);
- 5) La ganancia kg^{-1} se incrementa en \$19.8 kg^{-1} (24%) (Tabla 14).

El análisis económico muestra que la optimización del sistema de cultivo de *C. quadricarinatus* mediante el ajuste de los niveles de recambio de agua, aireación y alimentación permite darle una mayor viabilidad económica al cultivo de la especie.

8. Discusión.

8.1 Efecto del nivel de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

8.1.1 Calidad del agua

El nivel de recambio de agua, el incremento en la densidad de siembra, y el incremento de entrada de alimento y nutrientes en sistemas de cultivo acuícolas, son factores que influyen la calidad de agua y los sedimentos del sistema (Allan y Maguire, 1992; Hopkins, *et al.*, 1993; Martínez *et al.*, 1995, Tacon, 2002).

La obtención de buenos resultados en el cultivo de crustáceos depende del mantenimiento de una buena calidad del agua (Boyd y Trucker, 1992; Boyd y Zimmermann, 2000). Uno de los parámetros más importantes en la regulación de la tasa de crecimiento en langostas de agua dulce es la temperatura (King, 1994; Jussila, 1997) ya que los procesos bioquímicos y fisiológicos son directamente dependientes de ella, por lo que cambios de temperatura en el agua de cultivo producen cambios en el consumo de alimento y por ende en el crecimiento (Söderbäck, *et al.*, 1987; Seals, *et al.*, 1997). La tasa máxima de crecimiento se presenta cuando las langostas de agua dulce son cultivadas dentro del intervalo óptimo de temperatura (Morrissy, 1990; Jones, 1990a, 1995; King, 1994; Villarreal y Peláez, 1999); el intervalo óptimo para *C. quadricarinatus* se da entre 23 y 32 °C, con un óptimo de 28 °C (Jones, 1988, Villarreal y Peláez, 1999). Durante la evaluación experimental del efecto de diferentes niveles de recambio de agua en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*, la temperatura del agua de cultivo se mantuvo alrededor del intervalo óptimo reportado para la especie.

Otro parámetro crítico para el cultivo de *C. quadricarinatus* es el amonio (NH₃). El amonio total es un producto del metabolismo normal de crustáceos y de la degradación de otros compuestos orgánicos (vgr. alimento peletizado) (Boyd, 1990;

Boyd y Trucker, 1992). Niveles altos de amonio en el agua de cultivo se dan cuando la langosta de agua dulce la produce más rápidamente de lo que puede ser convertida a formas menos tóxicas como los nitritos y nitratos. El valor recomendado de amonio para *C. quadricarinatus* es $<1 \text{ mg L}^{-1}$ (Jones, 1990a; Villarreal y Peláez, 1999). El efecto de niveles críticos de amonio (i.e. $\text{NH}_3 > 1 \text{ mg L}^{-1}$) provoca estrés en los organismos, lo que produce una reducción de crecimiento y/o mala reproducción, y una reducción en la capacidad de respuesta inmune. Cuando el estrés por esta condición se mantiene, puede manifestarse en el organismo como una serie de enfermedades y mortalidad (Boyd, 1990; Villarreal y Peláez, 1999).

Niveles altos de amonia y nitritos pueden ser reducidos mediante el uso de aireación en el sistema de cultivo (Boyd, 1990; Hopkins, 1993, 1994; Martínez *et al.*, 1997, 1998; Villarreal y Peláez, 1999; Boyd y Clay, 2002). En esta evaluación se contó con aireación constante durante la evaluación y los niveles de amonia y nitritos se mantuvieron dentro de los valores recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990a; Villarreal y Peláez, 1999).

Por otro lado, condiciones de cultivo con niveles de pH inferiores a 7 inhiben la mineralización del caparazón y el crecimiento de Astácidos (Airen y Waddy, 1992; Jussila, 1997). Valores de pH fuera del intervalo óptimo para *C. quadricarinatus* también se reflejan en la capacidad de disolución o precipitación de distintas sustancias, como el fósforo, bióxido de carbono y amonio no ionizado, lo que afecta la productividad en el agua. Cuando el pH alcanza valores cercanos a 10, se inhibe la reproducción, la tasa de crecimiento disminuye y se incrementa la mortalidad (Villarreal y Peláez, 1999). En las evaluaciones del presente estudio, no se presentaron condiciones críticas de pH.

Los niveles registrados de oxígeno disuelto, pH, amonio no ionizado, nitritos nitratos, dureza y alcalinidad totales en el agua de cultivo, durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus* con diferentes niveles de recambio de agua, estuvieron dentro

de los niveles recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990a; Masser y Rouse, 1997; Villarreal y Peláez, 1999).

Con base en la respuesta productiva durante la presente evaluación experimental, se puede inferir que los niveles de aireación y alimentación utilizados durante la presente evaluación, fueron adecuados para permitir mantener aceptable calidad de agua y crecimiento de juveniles de *C. quadricarinatus*.

8.1.2 Respuesta productiva.

Los diferentes niveles de recambio de agua no afectaron el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*, en términos de peso, sobrevivencia y biomasa promedio finales, ya que los resultados de estos parámetros no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos de recambio de agua evaluados.

Los resultados en términos de biomasa ($143-152 \text{ g m}^{-2}$) y sobrevivencia (86-87 %) son similares a los reportados por Cortés *et al.*, (2003) en evaluaciones de requerimientos nutricionales en juveniles de *C. quadricarinatus* en condiciones de laboratorio.

El recambio de agua en el cultivo de *C. quadricarinatus* es una variable que representa el 23% de los costos totales de producción comercial (Hutchings y Villarreal, 1996; Villarreal y Peláez, 1999; Villarreal, 2000). Por ello, es importante optimizarlo (Villarreal, 2000). Aunado a lo anterior, en la actualidad existe gran preocupación por los efluentes de granjas acuícolas, debido a que pueden contener grandes cantidades de materia orgánica y nutrientes inorgánicos, los cuales pueden disolverse y afectar la calidad del agua de los cuerpos receptores y el medio ambiente (Ziemann *et al.*, 1992; Tacon *et al.*, 2000; Moss *et al.*, 2001). Por otro lado, el agua, además de servir como medio de transporte de nutrientes orgánicos e inorgánicos, puede ser vector de patógenos para el camarón (Lotz, 1997; Moss *et al.*, 1998, Lotz y Lightner, 2000). Los patógenos pueden entrar e infectar una granja

acuícola vía el agua no tratada del suministro de agua. Una vez establecido el patógeno, este puede diseminarse de estanque a estanque o de granja a granja vía efluentes no tratados y descargados a cuerpos de agua, que son una fuente común de agua para granjas cercanas. Estos problemas potenciales permiten considerar al recambio de agua como una opción de manejo riesgosa para la acuicultura en general, a menos que el suministro de agua y el efluente de agua sean desinfectados, lo que puede resultar en costos elevados para la industria, debido a que son grandes volúmenes de agua los que se utilizan para el recambio de agua en el cultivo (Moss *et al.*, 2001).

En otras especies de cultivo se han reportado buenos resultados de producción en sistemas en donde se ha reducido el nivel de recambio de agua, como el camarón marino, *Litopenaeus vannamei* (Hopkins, *et al.*, 1993, 1995a; 1995b; Martínez *et al.*, 1995, 1996; Sandifer y Hopkins, 1996; Fast y Menasveta, 2000; Jory, 2001; Boyd y Clay, 2002), la tilapia (Ahmad y Boyd, 1988; Berheim y Jacobsen, 2001) y el salmón (Timmons *et al.*, 2002). En general, estas reducciones en los niveles de recambio de agua se han llevado a cabo con fines de bioseguridad, intensificación del cultivo, impactar menos el ambiente y reducir los costos de producción por concepto de energía requerida para el bombeo de agua y desgaste de equipos. Hopkins *et al.*, (1995a) alcanzaron producciones de *L. vannamei* de 7000 kg ha⁻¹ciclo⁻¹ en estanques de 0.1 ha, sin recambio de agua. Sandifer y Hopkins (1996) por su parte, diseñaron un sistema de cultivo intensivo ecológicamente amigable, con recirculación de agua y sin descargas hacia el medio. Recientemente, en el Centro de Maricultura en Waddell en Carolina del Sur E.U., se están aplicando tecnologías con cero recambio de agua en canales rápidos y tanques de cultivo, reportando producciones de *Litopenaeus vannamei* de 1.69 kg m⁻² (equivalentes a 16,900 kg ha⁻¹ciclo⁻¹) sin recambio de agua y con la adición de altas densidades de sustratos verticales (Aquamats) (Bratvold y Browdy, 2001). De manera similar, Boyd y Clay (2002), reportan producciones de camarón *L. vannamei* de 27,200 kg ha⁻¹ en estanques de 650 m², en condiciones de cultivo super-intensivo con cero recambio de agua y de recirculación de la misma.

Por lo anterior, se puede considerar que es factible que los sistemas de cultivo no utilicen recambio de agua para mejorar su eficiencia (i.e. tilapia y cultivo hiperintensivo de camarón). El agua en estos sistemas es recirculada recibiendo un tratamiento previo que involucra la sedimentación de materia en suspensión, remoción de los sedimentos y aireación fuerte para reducir los compuestos tóxicos para el organismo en cultivo (Hopkins *et al.*, 1993, 1995; Sandifer y Hopkins, 1996; Boyd y Clay, 2002; Timmons *et al.*, 2002).

En el presente trabajo se presenta evidencia que sugiere que es posible eliminar el recambio de agua sin efectos negativos en el crecimiento, lo que se podrá traducir en una reducción significativa en el costo por recambio de agua. De manera similar, se podrá reducir la contaminación biológica y de nutrientes al ambiente. Este método también reduce la posibilidad de contaminación del ambiente al sistema de cultivo y reduce la oportunidad de introducción de patógenos al mismo. Además, en regiones donde es escasa el agua dulce, puede representar una alternativa de cultivo muy interesante, con la posibilidad de reutilización del agua en otros sistemas de producción como la agricultura.

Con base en lo anterior se concluye que es factible mantener niveles adecuados de producción en el cultivo de *C. quadricarinatus*, sin recambio de agua.

8.2 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de preadultos de *C. quadricarinatus* en cultivo monosexual.

8.2.1. Calidad de agua.

En esta evaluación, el nivel de oxígeno disuelto (2 mg L^{-1}) en el tratamiento con 0 horas de aireación día^{-1} fue significativamente menor. Sin embargo; esta baja concentración no se tradujo en un incremento en la mortalidad en los organismos en cultivo. Los niveles bajos de oxígeno con 0 horas de aireación suplementaria eran esperados en un sistema de agua clara. Esto implica que no hubo un efecto por

productividad natural (microalgas), las cuales pueden generar oxígeno en presencia de luz. En lo que respecta a la concentración de niveles de amonio, nitritos y nitratos se observó una ligera tendencia a incrementarse en los tratamientos de 6 y 0 horas de aireación día⁻¹. Esta tendencia se relaciona con la biomasa de los organismos experimentales por unidad experimental y el nivel individual de excreción de amonio por un lado, y el nivel de aireación suministrado por el otro.

La temperatura, el pH, la dureza y alcalinidad del agua se mantuvieron dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de la especie (Jones, 1990; Masser y Rouse, 1997; Villarreal y Peláez, 1999). Boyd (1990) ha señalado que el ión amonio se oxida en presencia de oxígeno, pasando a moléculas menos tóxicas para *C. quadricarinatus* como son los nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃). Estos últimos son utilizados como nutrientes por las microalgas, mejorando la productividad natural en estanques.

8.2.2 Respuesta productiva de preadultos en cultivo monosexual con diferentes niveles de aireación.

Las tasas de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia durante esta prueba fueron similares a las reportadas por Cortés *et al.*, (2004) en evaluaciones de diferentes dietas en condiciones de laboratorio.

Por otro lado, en cultivos monosexuales de *C. albidus* la sobrevivencia reportada se encuentra en un intervalo de 60-67% (Lawrence *et al.*, 2000), mientras que Naranjo *et al.*, (1999) reportan sobrevivencias de 66-85% para *C. quadricarinatus* cultivado a diferentes densidades en estanques comerciales con recubierta de grava.

Los machos en esta prueba crecieron más que las hembras en los diferentes niveles de aireación probados (6.3 ± 2.4%). Naranjo *et al.*, (2000) reportan un 16% más de crecimiento en machos respecto a las hembras en condiciones de cultivo comercial en estanques recubiertos con grava de río. Este crecimiento diferencial ha sido

reportado por otros autores (Medley y Rouse, 1993; Curtis y Jones, 1995a). La técnica de engorda monosexual permite alcanzar mejores rendimientos, debido a que tanto los machos como las hembras alcanzan mayores tallas, lo que se traduce en un mayor valor comercial de la producción. Lo anterior se debe a que en cultivo monosexual, la reproducción no tiene lugar y la energía que los organismos desviarían hacia la reproducción, la utilizan mayormente para el proceso de crecimiento (Jones, 1990; Villarreal y Peláez, 1999).

Sin embargo, las estrategias de cultivo dependerán de las necesidades específicas de producción en un proyecto determinado (Villarreal y Peláez, 1999).

Los factores de conversión alimenticia en la presente evaluación variaron entre 1.1 y 1.5, siendo ligeramente más altos que los FCA's reportados por Naranjo (1999) y Cortés *et al.*, (2004) para el cultivo monosexual de *C. quadricarinatus*. Sin embargo, son menores a los reportados por Siddiqui *et al.*, (1997) y D'Abramo y New (2000) (2.5-4.2) para *M. rosenbergii* en cultivo monosexual.

En la presente evaluación, los rendimientos más altos se obtuvieron con un nivel de aireación de 12 horas día⁻¹, tanto para machos como para hembras. Estos fueron significativamente diferentes a los resultados con de 6 o 0 horas de aireación día⁻¹. Como se mencionó anteriormente, la finalidad de reducir el nivel de aireación en el cultivo monosexual de *C. quadricarinatus* tiene que ver con la reducción de los costos de operación del cultivo a fin de darle mayor rentabilidad económica a este. En términos de producción, esto representa la posibilidad de obtener un ahorro de 50% en los costos de energía requerida para el sistema de aireación, respecto a las propuestas de Hutchings y Villarreal (1996) y Villarreal y Peláez (1999), quienes proponen usar aireación continua durante todo el ciclo de cultivo de *C. quadricarinatus*. Desde el punto de vista económico la reducción de 50% en el costo de energía eléctrica representa un incremento en la TIR de 3% para un proyecto de 10 ha.

De los resultados obtenidos en el presente experimento, se concluye que el nivel de aireación de 12 horas día⁻¹ fue adecuado para obtener buena calidad de agua y mejores rendimientos de los organismos. Lo anterior permite recomendar el uso de 12 horas de aireación/día para el cultivo monosexual de *C. quadricarinatus*.

8.3 Efecto del nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de *Cherax quadricarinatus*.

8.3.1 Calidad del agua.

La calidad del agua durante el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*, no fue afectada por los niveles de aireación evaluados en esta prueba, dado que no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos. Además, los parámetros de la calidad de agua se mantuvieron dentro de los valores recomendados para el cultivo de la especie.

Cabe resaltar, que los niveles promedio de oxígeno disuelto estuvieron alrededor de 8 mg L⁻¹ por la mañana y alrededor de 10 mg L⁻¹ por la tarde en el tratamiento con 0 h día⁻¹ de aireación.

Aparentemente, la reducción en el nivel de aireación no tiene un impacto significativo en sistemas en donde hay productividad natural y viento, que pueden mantener niveles adecuados de oxígeno en el agua de cultivo. Esto ha sido demostrado para diversas especies como por ejemplo: bagre de canal (Steeby, 2002, 2004; Zimba *et al.*, 2002), tilapia (Belarin y Haller, 1989; Segovia, 2000) y camarón (Martínez *et al.*, 1996, 1997) entre otras.

Sin embargo, las tecnologías que utilizan cero o bajo recambio de agua han mostrado reducir las fluctuaciones en la calidad de agua que, a su vez, se asocia a los crecimientos rápidos de fitoplancton y las caídas repentinas de este (Boyd y Clay, 2002; Browdy *et al.*, 2005). Estas variaciones pueden generar estrés en la fisiología

del organismo (por ejemplo, por cambios repentinos de pH), y afectar la disponibilidad de alimento natural (microalgas, zooplancton y bentos), reduciendo el consumo por parte del organismo.

8.3.2 Respuesta productiva.

Los rendimientos más altos en términos de crecimiento y biomasa final se obtuvieron con el nivel de 12 horas de aireación día⁻¹. Estos no fueron diferentes de los obtenidos con 24 horas de aireación. Los rendimientos de biomasa obtenidos (g m⁻²) en la presente evaluación son más altos que los reportados por Naranjo *et al.*, (2004) en estanques comerciales con recubierta de grava de río y con 24 horas de aireación día⁻¹.

Los estanques con fondo recubierto con membrana de plástico ofrecen menor fricción en la superficie de este, lo que contribuye a crear un flujo de agua con la velocidad necesaria para mantener los sólidos en suspensión. Este es un punto crítico en sistemas intensificados. McIntosh (2000) y Browdy, *et al.* (2001), recomiendan una velocidad de 6 m minuto⁻¹ para mantener en suspensión los sólidos. En el presente experimento, estanques con menos de 12 horas de aireación mostraron una caída en la tasa de crecimiento. Esto puede asociarse con un tiempo más elevado de degradación de metabolitos, como el amonio, que a pesar de mantenerse en niveles no críticos para la especie, pueden causar un efecto subletal crónico. Colt y Tchobanoglous (1976), Armstrong *et al* (1978), Wasielesky *et al* (1994) y Miranda *et al* (1995) han demostrado que niveles subcríticos de amonio afectan el crecimiento de especies en cultivo como *Macrobrachium rosenbergii*, *Ictalurus punctatus*, *Mugil platanus* y *Litopenaeus paulensis*.

Por otro lado, la falta de movimiento de agua como se observó en el tratamiento de aireación de 0 horas día⁻¹ propicia una acumulación mayor de sedimentos orgánicos e inorgánicos en el fondo del estanque, que puede afectar la alimentación. Además, *C. quadricarinatus* es una especie que vive en el fondo del estanque, por lo que las

microcondiciones de la capa adyacente al fondo pueden afectar al organismo, sin que ese efecto se evidencie en el monitoreo de parámetros fisicoquímicos. Este problema ha sido reportado para el camarón *Litopenaeus vannamei* (Kitvo *et al.*, 2000; Yusoff *et al.*, 2003; Abraham *et al.*, 2004).

La sobrevivencia en la presente prueba fue de alrededor de 82%, lo cual está dentro de los intervalos reportados para juveniles de *C. quadricarinatus* en cultivo. Jones *et al.*, (1996b) y Ponce *et al.*, (1998) reportan sobrevivencias de 60-95%, mientras que Webster *et al.* (1994) reportó sobrevivencias de 50-71% para juveniles de *C. quadricarinatus* en evaluaciones de diferentes dietas.

Las variaciones en el nivel de aireación en el estanque han evidenciado cambios en la sobrevivencia de *Litopenaeus vannamei* e *Ictalurus punctatus* (Hopkins *et al.*, 1993; Abdalla y Romaire, 1996; Sandifer y Hopkins, 1996; Martínez *et al.*, 1997; Steeby, 2002). Estos cambios generalmente se han relacionado con caídas en la concentración de oxígeno, lo que propicia el estrés fisiológico. Cuando la productividad natural y el viento mantienen niveles de oxígeno por encima de valores críticos, entonces no se esperarían incrementos en la mortalidad.

Los factores de conversión alimenticia, alrededor de 0.73, fueron menores a los reportados por Jones (1996) y Cortés *et al.*, (2002). Esto quiere decir que *C. quadricarinatus* es un organismo eficiente desde el punto de vista energético, ya que ha alcanzado tasas de crecimiento de 3.3 g sem^{-1} con FCA's de 0.8 en cultivo comercial (Villarreal, *et al.*, 1999; Naranjo, 2000). Esta característica le da una ventaja competitiva entre las especies susceptibles de cultivo.

El FCA obtenido refleja la importancia que tuvo la productividad natural y los nutrientes acumulados en el fondo del estanque para el organismo, los cuales contribuyeron en su alimentación logrando valores de FCA's por debajo de 1.

De lo anterior, se puede inferir que la mezcla de agua originada por la aireación suministrada fue más importante para el crecimiento, debido a que dicha mezcla

contribuyó a crear un ambiente más estable desde el punto de vista físico y nutricional en el sistema de cultivo. Las corrientes de agua que produce la aireación permiten mantener en suspensión la materia orgánica y propician el desarrollo de bacterias presentes en el sistema, facilitando la descomposición aeróbica de dicha materia y la nitrificación por medio de las bacterias (Sandifer y Hopkins, 1996; Browdy, *et al.*, 2001; Jory, 2001; Boy y Clay, 2002; Avnimelech y Gad, 2003).

En general, las concentraciones de materia orgánica, nutrientes y la densidad de microorganismos en el fondo de los estanques son más altas que en la columna de agua. Si no se realiza un manejo adecuado del fondo del estanque, la degradación de la materia orgánica y la alta demanda de oxígeno requerida para este proceso exceden la renovación del oxígeno, posiblemente generando zonas anóxicas y una serie de compuestos orgánicos reducidos, potencialmente tóxicos para los organismos (vgr. Compuestos de azufre y manganeso reducido y sulfuros (Teichert-Coddington *et al.*, 1999). Dichos compuestos permanecen en la interfase agua-sedimento, que es donde *C. quadricarinatus* vive. La exposición a tales compuestos tóxicos provoca disminución en la alimentación, crecimiento lento, mortalidad y una mayor susceptibilidad de los organismos a las enfermedades (Hopkins *et al.*, 1991; Sandifer *et al.*, 1993; Kitvo *et al.*, 2000; Avnimelech y Gad, 2003; Correia *et al.*, 2003; Yusoff *et al.*, 2003).

Evaluaciones encaminadas a optimizar el uso de sistemas de aireación han sido reportadas por varios autores. Martínez *et al.* (1997, 1998) reporta que 6 horas de aireación día⁻¹ permitieron obtener rendimientos aceptables para los camarones *L. vannamei* y *F. californiensis* en estanques con bajo recambio de agua. Otros autores han reportado que es factible reducir el nivel de aireación en sistemas intensivos para el cultivo de bagre *Ictalurus punctatus* y tilapia (Masuda y Boyd, 1984; Abdalla y Romaine, 1996; Torrains *et al.*, 2001; Gelfand *et al.*, 2003), sin efectos negativos.

La reducción de los niveles de aireación en sistemas acuícolas intensivos es factible cuando la tasa de alimentación es tal que permite reducir los niveles de aireación sin

afectar la calidad de agua de manera significativa. Para *C. quadricarinatus* es necesario considerar, en particular, la calidad de agua en la interfase del fondo del estanque/agua, donde permanece la langosta.

En la actualidad, sistemas de cultivo intensivos y super-intensivos de bagre, camarón, tilapia y salmón, entre otros, están siendo desarrollados, con el fin de hacer más sustentable y rentable el cultivo (Torrans, 2001; Boyd y Clay, 2002; Timmons *et al.*, 2002; Gelfand *et al.*, 2003; Browdy *et al.*, 2005). Como se mencionó anteriormente, en estos sistemas la aireación suplementaria es indispensable; sin embargo, se busca lograr optimizar su uso, tomando en consideración, entre otras cosas, el tipo de aireador y horarios de uso, principalmente (Boyd y Clay, 2002). Cabe mencionar que el monitoreo rutinario de los niveles de oxígeno disuelto es esencial para la toma de decisiones en la cantidad y/o la forma de uso de los sistemas de aireación suplementaria (Allan y Maguire, 1993; Hopkins *et al.*, 1991, 1996; McIntosh, 2000). La determinación de los niveles adecuados de aireación suplementaria en sistemas intensificados es crítica, tanto para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto y minimizar la cantidad y tamaño de equipos utilizados así como reducir los costos de operación (Ahmad y Boyd, 1988; Hopkins, *et al.*, 1991; Martínez *et al.*, 1997,1998; Boyd y Clay, 2002).

De los resultados obtenidos en el presente experimento, se concluye que es posible maximizar la producción de *C. quadricarinatus* en estanques con recubierta de plástico, manteniendo aireación por un periodo de al menos 12 horas por día, a partir de las 20:00 horas.

8.4 Efecto de dos diferentes estrategias de alimentación en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*.

8.4.1 Calidad de agua.

Los parámetros de calidad de agua durante el experimento, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y se encuentran en los intervalos recomendados para la especie con excepción de la temperatura.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la temperatura es uno de los parámetros más importantes para el cultivo de crustáceos, ya que estos no controlan la temperatura corporal. La temperatura promedio en los dos tratamientos se encontró por debajo del intervalo óptimo recomendado para la especie (Jones, 1990; Masser y Rouse, 1997 y Villareal y Peláez, 1999). Es importante mencionar que aunque la temperatura del cultivo no impidió el crecimiento de los organismos, no se obtuvo la tasa máxima de crecimiento ya que los procesos bioquímicos y fisiológicos (principalmente el metabolismo), son directamente dependientes de la temperatura (Armitage y Wall, 1982; Villareal y Peláez, 1999).

Los resultados de crecimiento equivalen al 45% de lo reportado por Naranjo *et al.* (2000), para engorda en estanques comerciales con recubierta de grava de río a temperatura óptima, pero 120% de lo reportado por Cortés *et al.*, (2003a) para evaluación de frecuencia alimenticia en agua clara y condiciones de laboratorio. Es evidente que, en presencia de productividad natural, *C. quadricarinatus* puede incrementar significativamente su tasa de crecimiento con respecto a organismos alimentados solo con una ración comercial. Esto se debe a que la especie es considerada un omnívoro y es capaz de ingerir una mayor cantidad de alimento cuando la fuente es variada (Kovic, 1977 y Villarreal, 1999) Por otro lado, la respuesta obtenida permitirá revisar los factores de corrección por temperatura, propuestos por Villarreal y Peláez (1999) para producción comercial ya que estas sobreestiman el crecimiento a temperaturas entre 17 y 23 °C.

La información de concentración de clorofila *a* y *b* es poco concluyente y no se pueden establecer criterios generales asociados a los tratamientos experimentales. Jones (1990) y Villareal y Peláez (1999) mencionan que en la alimentación de los juveniles de *C. quadricarinatus*, es importante considerar la productividad natural (primaria y secundaria) debido a que esta representa entre un 50-70% de su alimentación. Para valores de productividad similares, la alimentación suplementaria, se convierte en un factor de alta relevancia, ya que el manejo de alimento balanceado que proporcione una mayor disponibilidad de nutrientes para el organismo proporcionará mejores rendimientos productivos en términos de peso final y/o biomasa. En sistemas de cultivo intensivo, una vez que la biomasa rebasa la capacidad de carga del estanque, el alimento suplementario representa la fuente principal de alimento (Villarreal y Peláez, 1999; Naranjo *et al.*, 2004).

Los valores promedio más altos en amonio, nitritos y nitratos obtenidos para la estrategia de alimentación de 1 vez al día, pueden deberse a que el alimento está más tiempo en el agua, se presenta un mayor grado de lixiviación y por lo tanto, un aprovechamiento menor por el organismo, ya que el alimento pierde palatabilidad y calidad. Esto puede ocasionar un mayor deterioro en la calidad del agua, generando un efecto negativo en el organismo cultivado (Cruz, 1991; Miranda *et al.*, 1995; Hopkins *et al.*; 1996; Villareal y Peláez, 1999; Avnimelech y Gad, 2003), aunque este efecto no sea necesariamente crítico (letal), sino de tipo crónico.

8.4.2 Respuesta productiva de juveniles de *C. quadricarinatus* para dos estrategias de alimentación.

El nivel proteico del alimento comercial utilizado en este experimento ofrece los nutrientes necesarios para juveniles de *C. quadricarinatus* según lo reportado por Villarreal y Peláez (2002) y Cortés *et al.* (2003b). Además, los valores de productividad natural en los estanques se encontraron dentro de los valores recomendados para especies acuícolas. Consecuentemente, es posible concluir que

las diferencias entre tratamientos se relacionan principalmente a la estrategia de alimentación empleada.

Velasco *et al.* (1999) indican que la frecuencia de alimentación y la cantidad de alimento por ración alimenticia son una parte integral del buen manejo de la alimentación en un sistema acuícola.

En el presente experimento se demostró que a mayor frecuencia alimenticia, los juveniles de *C. quadricarinatus* crecieron mejor. Esto se relaciona con la posibilidad de adquirir los nutrientes indispensables para su desarrollo óptimo, incluyendo las funciones metabólicas y la formación de tejido muscular, de manera más eficiente.

En lo que se refiere a la tasa de crecimiento específica (TCE) y la tasa de crecimiento absoluta (TCA), presentan promedios más altos al alimentar 4 veces al día, lo que coincide con lo reportado en la literatura para agua clara (Cortés *et al.*, 2003a). Al alimentar 4 veces al día, se encontró un incremento en peso promedio significativamente diferente a partir del día 60. Esto concuerda con lo mencionado en la literatura para la especie (Rendón, 2002; Cortés *et al.*, 2003a) y sugiere que el sistema se aproxima a la capacidad de carga del estanque, por lo que el crecimiento es más dependiente del alimento suplementario ofrecido y de la calidad de éste.

En general, la densidad de siembra es un factor que puede afectar la tasa de crecimiento en *C. quadricarinatus* (Naranjo *et al.*, 2004). En el presente trabajo, la densidad utilizada está dentro de los valores rutinarios utilizados comercialmente (Huner, 1993; Jones, 2000; Naranjo *et al.*, 2004) y no se considera que influyó los resultados, a pesar de las pequeñas diferencias en sobrevivencia.

El FCA promedio fue mayor cuando se alimentó 1 vez al día (1.39), lo cual es similar con a lo reportado por Cortés *et al.* (2003), quienes reportan valores de FCA mayores para esa frecuencia alimenticia al trabajar en un sistema de agua clara (sin productividad natural). Villarreal *et al.* (1999), por su parte, reportan valores de 0.8 en

estanques de cultivo comercial a temperaturas superiores a 23 °C. La diferencia del FCA con respecto al tratamiento con alimentación de 4 veces día⁻¹ puede deberse a que el presente estudio se realizó en temperaturas subóptimas (22.3 ± 3°C). Como se indicó anteriormente, de acuerdo a nuestros resultados, se sugiere que el ajuste por temperatura en las tablas de alimentación de referencia (Villarreal y Peláez, 1999) sobreestima el crecimiento de acuerdo a los resultados.

Naranjo *et al.* (2000) mencionan que el alimento peletizado comercial para camarón ha sido utilizado con gran éxito en el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus*, donde los organismos presentan una excelente sobrevivencia, de alrededor del 80%, después de 80-90 días de cultivo en condiciones óptimas. En el presente experimento se encontraron sobrevivencias por debajo del 80%, lo que probablemente se relacione a la temperatura experimental, la cual fue sub-óptima.

8.4.3 Análisis químicos.

Una mayor asimilación de proteínas se refleja generalmente en un mayor incremento en el peso final de los organismos, debido a que son el principal material orgánico en el tejido muscular de los crustáceos (Lee *et al.*, 2000). Se considera que la ganancia en peso en el tratamiento de alimentación de 4 veces al día se relaciona con la biodisponibilidad de la proteína y sus aminoácidos. Por otro lado, el aprovechamiento de los lípidos disponibles es importante y son esenciales para el desarrollo normal del metabolismo de los crustáceos. Los lípidos son el principal material de reserva energética para *C. quadricarinatus* (Villarreal y Peláez, 1999; García-Ulloa, 2000; García *et al.*, 2003). Los resultados de lixiviación como producto de inmersión en agua, en el que la concentración de proteínas y lípidos, disminuyen significativamente en el tiempo, sugieren que la calidad del alimento se deteriora con el tiempo. Después de 6 horas hay una pérdida de 26 y 6.2% de proteínas y lípidos respectivamente. Esta es una de las posibles razones por la que el crecimiento después de 45 días, en el que el alimento natural empieza a ser limitante en el estanque de cultivo, es diferente entre los dos tratamientos. Es evidente que a mayor

frecuencia alimenticia, la calidad del alimento suplementario que pueden consumir los organismos es mejor, resultando en un peso final mayor al alimentar 4 veces día⁻¹. Por otra parte, los niveles elevados de nutrientes en el tracto digestivo en organismos alimentados 1 vez día⁻¹, probablemente se relacionan con la pérdida de capacidad de asimilación de *C. quadricarinatus*, al tener estos una menor calidad nutricional, como producto de permanecer sumergidos en agua por largos periodos. Es importante tomar en consideración que la calidad nutricional del alimento lixiviado es equitativamente menor. Esto implica que la digestibilidad de los insumos ingeridos por los organismos es menor, por lo que la asimilación de estos es limitada, a pesar de que el consumo se mantenga (López *et al.*, 2004). Sin embargo, aún es necesario realizar experimentos complementarios para entender el proceso de asimilación.

La disminución del nivel de proteínas y lípidos en el hepatopáncreas a los 35 días, sugiere que se está transfiriendo proteína al músculo para crecimiento y lípidos para cubrir las demandas de energía metabólica. Rodríguez (2001) mostró que reproductores de *C. quadricarinatus* son capaces de transferir nutrientes del hepatopáncreas a la gónada para iniciar el proceso reproductivo. Por otro lado, la recuperación de los niveles de nutrientes que se evidencia a los 75 días es producto de la reducción metabólica provocada por la caída de la temperatura. Esta se refleja en una menor demanda para las funciones metabólicas rutinarias y una menor acumulación de proteínas en el tejido, lo que resulta en un menor crecimiento. Por otra parte, la concentración de carbohidratos sigue un proceso similar al de proteínas y lípidos a los 35 días, pero no se muestra una recuperación a los 75 días. Probablemente, esto se relaciona con el hecho de que la demanda de energía a bajas temperaturas es cubierta principalmente por carbohidratos (López-López *et al.*, 2004).

Existe un potencial considerable para mejorar y optimizar las prácticas actuales de manejo de la alimentación, las cuales deberían ser específicas para diferentes especies, áreas y hasta para cada época del año, para de esta manera optimizar la eficiencia productiva y minimizar los impactos ambientales (Jory, 2001).

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta evaluación, se recomienda el uso de 4 alimentaciones día⁻¹ para el cultivo de *C. quadricarinatus*.

8.5 Análisis económico.

A fin de considerar la factibilidad de aplicación de las estrategias optimizadas, se realizó un análisis económico.

La reducción en el nivel de recambio de agua por día implica una disminución del costo de electricidad para bombeo. Adicionalmente, hay ahorros generados por el menor desgaste del equipo. De manera similar hay una reducción en el gasto eléctrico asociado al sistema de aireación, debido a la reducción en el tiempo de operación.

Por otro lado, el incremento en la frecuencia de alimentación implica un incremento en el costo por este concepto al requerir mayor personal, pero una reducción en el costo de alimento, ya que éste es mejor aprovechado por el organismo y se obtiene un menor factor de conversión alimenticia. Adicionalmente, el tiempo de cultivo puede reducirse porque los organismos alcanzan la talla deseada más rápidamente. Los resultados muestran que la aplicación de los valores optimizados de recambio de agua, aireación y frecuencia alimenticia mejoran la eficiencia productiva, mejorando las perspectivas de éxito comercial del cultivo de *C. quadricarinatus*.

La combinación de disponibilidad de agua de alta calidad, las regulaciones ambientales más estrictas y productos más baratos, han obligado a la búsqueda de nuevas tecnologías que proporcionen condiciones de cultivos más controladas e independientes del ambiente (McIntosh, 2000; Villarreal, 2000; Bergheim y Jacobsen, 2001; Boy y Clay, 2002).

La aplicación de tecnologías de cultivo intensificadas busca optimizar el uso de los recursos, llegando a tener una productividad más alta. Por ejemplo, tecnologías

intensificadas con recirculación de agua y/o recambio de agua reducido se consideran una alternativa para el cultivo de varias especies como el camarón, la trucha, peces planos marinos, lobinas y doradas entre otras especies (Bergheim y Jacobsen, 2001; Gelfand *et al.*, 2003).

Actualmente tecnologías de cultivo intensivo que optimizan el uso de los recursos agua, aireación y alimentación, han mostrado mejorar la viabilidad del cultivo de especies como la tilapia, bagre, salmón y camarón marino (Belarin y Haller, 1982; Nerrie *et al.*, 1990; Huang y Chiu, 1997; Bergheim y Jacobsen, 2001; Torrans, 2001; Boyd y Clay, 2002; Timmons, 2002; Gelfand *et al.*, 2003).

El análisis económico en el presente trabajo, mostró que la optimización de las principales variables de producción en el cultivo de *C. quadricarinatus*, mejoran significativamente la rentabilidad del cultivo.

9 Conclusiones.

De los resultados de las cuatro evaluaciones experimentales llevadas a cabo pueden enlistarse las siguientes conclusiones:

1.- Los estudios sobre el efecto de las variables de manejo del cultivo sobre el rendimiento de los organismos, permiten construir las bases para el desarrollo de tecnologías de cultivo optimizadas.

2.- Los niveles de recambio de agua evaluados no mostraron un efecto en los organismos. De lo anterior se concluye, que es factible mantener niveles adecuados de producción en el cultivo de *C. quadricarinatus*, sin recambio de agua y solo recuperar la pérdida por evaporación.

3.- En el cultivo monosexual de preadultos de *C. quadricarinatus*, se concluye que el nivel de aireación de 12 horas día⁻¹ fue adecuado para obtener buena calidad de agua y mayores rendimientos de los organismos. Lo anterior nos lleva a recomendar el uso de 12 horas de aireación día⁻¹ para el cultivo monosexual de *C. quadricarinatus*.

4.- Respecto al nivel de aireación en el desarrollo de juveniles de *C. quadricarinatus*, se concluye que es posible maximizar la producción en estanques con recubierta de plástico, manteniendo aireación por un periodo de al menos 12 horas por día, a partir de las 20:00 horas.

5.- En el cultivo de juveniles de *C. quadricarinatus*, en estanques de escala piloto comercial con recubierta de plástico y con presencia de productividad natural, se obtiene un mejor crecimiento, con la estrategia de alimentación de cuatro veces al día, como resultado de la disponibilidad de alimento de mejor calidad para el organismo. Por ello, se recomienda el uso de 4 alimentaciones día⁻¹ para el cultivo de *C. quadricarinatus*.

6.- El análisis económico en el presente trabajo, mostró que la optimización de las variables de recambio de agua, aireación, y alimentación en la producción de *C. quadricarinatus*, mejoran significativamente la rentabilidad del cultivo. La TIR y el VAN aumentan, respectivamente, 34% y 49% en el sistema de producción optimizado. El PRC disminuye de 5 a 3 años.

7.- La optimización de las tres variables de manejo del cultivo evaluadas en el presente trabajo, generan las bases para una tecnología de cultivo más eficiente. Los sistemas de cultivo con poco o sin recambio de agua, permiten incrementar la bioseguridad del sistema. Adicionalmente, se logra una reducción en costos de operación por el menor uso de agua y aireación y una mejor eficiencia en el uso del alimento.

8.- Los resultados del presente trabajo contribuirán a la consolidación del cultivo de *C. quadricarinatus* en México, implementando una tecnología de cultivo altamente eficiente, biosegura y ambientalmente amigable.

A partir de los resultados del presente trabajo se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

1) Evaluar a nivel comercial los resultados obtenidos en el presente trabajo. A la fecha El CIBNOR está llevando a cabo dicha evaluación con una empresa comercial de B.C.S. en una granja demostrativa de 6 ha de espejo de agua, con estanques de cultivo de tamaño comercial. Los resultados son alentadores.

2) Evaluar la factibilidad de la reutilización del agua de descarga producto de la cosecha de los estanques, para el propio cultivo acuícola y/o la reutilización para el cultivo agrícola. Lo anterior permitirá hacer un uso eficiente del recurso agua, reducir costos por bombeo y contribuir a la diversificación de la base productiva en el país.

3) Mejores prácticas de manejo de estanques y de los alimentos balanceados contribuirán a reducir los factores de conversión y con ello, los requerimientos de harina de pescado en las dietas formuladas. Como consecuencia se reduce el efecto de los efluentes en el ambiente y en el propio sistema de cultivo, propiciando el desarrollo de industrias ecológicamente viables. Por lo anterior se recomienda realizar investigación en estas áreas.

4) El desarrollo de flóculos bacterianos en el estanque de producción es una alternativa que puede permitir intensificar el cultivo de *C. quadricarinatus*, por lo que se recomienda que su uso sea evaluado a fin de incrementar los rendimientos de la especie y la viabilidad económica del cultivo.

10 Literatura citada

- Abdalla, A.A.F. and R.P. Romaine. 1996. Effects of timing and duration of aeration on water quality and production of channel catfish. *Journal of Applied Aquaculture*. 6 (1): 1-10.
- Allan, G.F. and G.B. Maguire. 1993. The effects of water exchange on production of *Metapenaeus macleayi* and water quality in experimental pools. *Journal of the World Aquaculture Society*. 24 (3): 321-328.
- Alvarez-González, C.A. 2003. Actividad enzimática digestiva y evaluación de dietas para el destete de larvas de la cabrilla arenosa *paralabrax maculatofasciatus* (percoidei serranidae). Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 164 p.
- Anderson, R.K., P.L. Parker y 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.
- APHA-AWWA-WPCFS. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association. Washington USA. 1193 Pp.
- Arce, R.A., 1989. Cultivo larvario de camarones peneidos. Monografía. Centro de Investigaciones Biológicas. La Paz, Méxicio. 160 p.
- Armstrong, D.A.; Chippendale, D.; Knight, A.W. and J.E. Colt. 1978. Interaction of Ionized and Un-ionized Ammonia on Short-Term Survival and Growth of Prawn Larvae, *Macrobrachium rosenbergii*. *Biological Bulletin*. 154: 15-31.
- Austin, C.M. 1992. Preliminary pond production of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* in the Central United States. *Journal of Applied Aquaculture*, 1 (4): 93-102.

- Austin, C.M., 1995. Evolution in the Genus *Cherax* (Decapoda: Parastacidae). *Freshwater Crayfish* 8:12-31.
- Avnimelech and Gad. 2003. Shrimp and fish ponds soils: Processes and management. *Aquaculture*. 220(1-4): 549-567.
- Barki, M. A. Levi, T. Shrem, A. and Kurplus, I., 1997. Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory. *Aquaculture*, 148(2-3): 169-177.
- Bergheim, A. and T.G. Jacobsen. 2001. Intensive fish production in recirculation systems: brief characteristics of system technology, performance and cost Serie Monografias Del ICCM. 4: 5-15.
- Boyd, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Auburn University. 468 p.
- Boyd, C.E. & J.W. Clay. 2002. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A superintensive shrimp aquaculture system. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. 17 p.
- Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding. *Analytical Biochemistry* 72; 248-253.
- Browdy, C,L., Alvin D. Stokes Ryan Kegi, Brad J. Mcabee and Heidi Atwood. 2001. Advances in the manipulation and control of microbial communities for more sustainable and profitable shrimp production systems. Advances in the manipulation and control of microbial communities for more sustainable and profitable shrimp production systems. Waddell mariculture center. Charleston USA. 35 p.

- Browdy, C.L., J.D. Holloway, C.O. King, A.D. Stokes, J.S. Hopkins, & P.A. Sandifer. 1993. IHHN virus and intensive culture of *Penaeus vannamei*: effects of stocking density and water exchange rates. *Journal of Crustacean Biology* 13: 87-94.
- Campaña, A., Villarreal, H., Civera, R., Martinez, L. 2004. Efecto del nivel protéico de la dieta, sobre el desarrollo de juveniles de langosta australiana *Cherax quadricarinatus* (redclaw). *Biologia Tropical*. Vol. 51: 749-751.
- Castille, F.L., y A.L. Lawrence. 1989. The effect of deleting dietary constitutens 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.
- Chamberlain, G.W. and S.M. Barlow. 2000. A balanced assessment of aquaculture. *Global Aquaculture Advocate* 3(4): 7.
- Chen, L. and L. Chen. 1992. Juvenile *Penaeus monodon* as an effective zooplankton predator. *Aquaculture*. 103: 35-44.
- Clifford, H.C. 1992. Marine shrimp pond management: a review. In Wyban, J. (Ed) *Proceedings of the Special Session on Shrimp Fanning*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA p. 29.
- Clifford, H.C. 2000. Shrimp farming in Mexico: recent developments. *The Global Aquaculture Advocate* 3(2): 79-81.
- Coddy, J.F. & R.C. Griffiths. 1995. Living marine resources and their sustainable development. *FAO Fisheries Technical Paper* 353: 167.
- Colt, J. and Tchobanoglous, G. 1976. Evaluations of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*. 8(3): 209-224.

- Colt, J. and Orwiez, K., 1991. Aeration in intensive culture. In: D. E. Brune and J. R. Tomasso (Editors). *Aquaculture and Water Quality*, Vol.3. The World aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, pp. 198-270.
- Correia, E.deS., & L.B. Cavalcanti. 1998. Selection of area and construction of culture ponds. Freshwater crustacean culture technology for shrimp production *carcinicultura de agua doce. Tecnologia para a producao de camaroes* Valenti,W.C. (ed.) Brasilia Brazil Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renovaveis IBAMA pp. 179-190.
- Cortés, E., Villarreal, H. & R. Civera. 2002. Effects of feed protein levels on redclaw roduction in México. *Global Aquaculture Advocate* 5(2): 22.
- Cortés, E., Villarreal, H., and Civera, R. 2002. Effects of feed protein levels on redclaw production in Mexico. *Aquaculture Advocate*. Vol. 5:22.
- Cortés-Jacinto, E., Villarreal-Colmenares, H., Civera-Cerecedo, R. and Martínez-Córdova, L. 2003a. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture Nutrition*. 4(9): 207-213. `
- Cortés, E., Villarreal, H., and Rendón-Romualdo, M. 2003b. Effect of feeding frequency on growth and survival of juvenile crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868)(Decapoda:Parastacidae). *Hidrobiológica* 13(2):151-158
- Cortés-Jacinto, E., Villarreal-Colmenares, H., Civera-Cerecedo, R., Naranjo-Paramo, J., 2004. Effect of dietary protein level on the grow and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture. *Aquaculture Research* 35:71-79.
- Coss, B.R. 1996. *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Limusa-Noriega. (2° ed). México, 349p.
- Covich, A.P. 1997. How do crayfish respond to plants and Mollusca as alternate food resources? *Freshwater Crayfish*. 3: 165-179.

- Crandall, K. A., J. W. Fetzner Jr., S. H. Lawler, M. Kinnersley, and Austin, C. M., 1999. Phylogenetic relationships among the Australian and New Zealand genera of freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae). *Australian Journal of Zoology* 47: 199-214.
- Curtis, M. C. & C. M. Jones. 1995. Observations on monosex culture of redclaw *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 26(2): 154-159.
- Cruz, P.S. 1991. Shrimp feeding management: Principles and practices. Kabukiran Enterprises Inc. Davao City, Philippines. 57 pp.
- D'Abramo, L.R., Daniels, W.H., Gerard, P.D., Jun W.H. & C.G. Summerlin. 2000. Influence of water volume, surface area, and water replacement rate on weight gain of juvenile freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 182(1-2): 161-171.
- Du-Boulay, A.J.H.; Sayer, M.D.J. and D.M. Holdich. 1993. Investigations into intensive culture of the Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* *Freshwater Crayfish IX*, Holdich, D.M.; Warner, G.F. eds. Lafayette, LA USA, University of South Western Louisiana, 70-78 pp.
- Fast, A.W. and P. Menasveta. 2000. Some recent issues and innovations in marine shrimp pond culture. *Reviews in Fisheries Science* 8(3): 151-233.
- FAO, 2000. The state of world fisheries and aquaculture. 2000. FAO Fisheries Department. Rome, <http://www.fao.org/drocep/> 142 p.
- FAO, 2003. Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. FISHSTAT Plus: Universal software for fishery statistical time series. Versión 2.3.

- Flegel, TW; Wongteerasupaya, C; Tonqchuea, W; Boonsaeng, V*; Panyim, S; Tassanakajon, and A; Withyachumnarnkol, B. 1997. Detection of yellow head virus (YHV) of *penaeus monodon* by RT-PCR amplification. *Dis. Aquat. Org.* 31(3): 181-186.
- Forster, J.R.M., 1975. Studies on the development of compounded diets for prawns. *Proc. First. Int. Conf. on Aquaculture Nutrition.* pp. 229-248.
- García, M., Villarreal, H., Racotta, I., 2003a. Effect of the temperature on lipids, proteins and carbohydrates variation during the embryonic development of *C. quadricarinatus*. *Comp-Biochem. Physiol. A* (135): 147-154.
- García-Guerrero, M., Hendrickx, M.E. and Villarreal, H. 2003b. Description of the embryonic development of *Cherax quadricarinatus* Von Martines, 1868 (Decapoda: Parastacidae) based on the staging method. *Crustaceana.*, 76(3):269-280.
- García-Guerrero, M., Racotta, I., Rodriguez-Jaramillo, C., Villarreal, H. and Cortés-Jacinto, E., 2003c. Energy storage during the transition from endogenous to exogenous feeding in Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1898). *Invertebrate Reproduction and Development*, 44:2-3(2003): 101-106.
- García-Guerrero, M., Racotta-Dimitrov, I.S. and Villarreal-Colmenares, H. 2003d. Variation in protein, lipid and carbohydrate content during the embryonic development of the crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae). *J. Crust. Biol.* 23: 1-6. (F.I. 00.724).
- García-Ulloa, G.M., López-Chavarin, H.M., Rodríguez-González, H., and Villarreal-Colmenares, H. 2003. Growth of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens) juveniles fed isoproteic diets with partial or total substitution of fish meal by soya bean meal: preliminary study. *Aquaculture Nutrition.* 9(1): 25-31.

- Gelfand, I.; Barak, Y.; Even-Chen, Z.; Cytryn, E.; van Rijn, J.; Krom, M.D. and A. Neori. 2003. A Novel Zero Discharge Intensive Seawater Recirculating System for the Culture of Marine Fish. *Journal of the World Aquaculture Society*. 34 (3): 344-358.
- Goldburg, R. & T. Triplett. 1997. *Murky Waters: Environmental effects of aquaculture in the United States*. The Environmental Defense Fund, EDF Publications, Washington, D.C. 196 p.
- González-Becerril A. 2002. Modelación bioeconómica de un sistema de producción de camarón *Litopenaeus stylirostris* en Escuinapa, Sinaloa, México. Tesis de doctorado. Universidad de Colima, México. 100p.
- Gowen, RJ; Bradbury, NB. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters. *Oceanography and marine biology: an annual review*.
- Goytortúa-Bores E. 2002. Evaluación del valor nutricional de un extracto lipídico y un concentrado proteínico de langostilla (*Pleuroncodes planides*) para el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de maestría. Universidad de Colima. Colima, México. 88 p.
- Grubb C. 1994. Introduction and cultivation of crayfish in Zambia. Report the Technical Consultation on Species for Small Reservoir Fisheries and Aquaculture in Southern Africa. FAO/SIDA Aquaculture for local Community Development Program, Livingstone, Zambia. 19: 35-36.
- Holdich, D.M. 2002. *Biology of freshwater crayfish*. School of life and Environmental Sciences, University of Nottingham, Nottingham, Blackwell Science. NG7 2 RD, UK. 702 p.
- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, A.D. Stokes, & C.L. Browdy. 1991. The effect of minimal water exchange on the water quality and production of intensive marine shrimp ponds. In: *Book of Abstracts. Aquaculture '91*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA. 33 p.

- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, & C.L. Browdy. 1995a. Effect of two feed protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water exchange. *Journal of the World Aquaculture Society* 26: 93-97.
- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, & C.L. Browdy. 1995b. A review of water management regimes which abate the environmental impacts of shrimp farming. *In*: C.L. Browdy and J. S. Hopkins, editors. *Swimming Through Troubled Water, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA. pp. 157-166.
- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, C.L. Browdy y J.D. Holloway. 1996. Comparison of exchange and no-exchange water management for intensive culture of marine shrimp. *Journal of Shellfish Res.*, 13:441-445.
- Hopkins, J.S., R.D. Hamilton, P.A. Sandifer, C.L. Browdy, & A.D. Stokes. 1993. Effect of water exchange rate on the production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets in intensive shrimp ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 304-320.
- Hopkins, J.S. 1994. Elimination of water exchange in intensive shrimp ponds: technology for water quality management. Abstracts World Aquaculture Society Meeting. Louisiana, USA.
- Huner, J. V. 1994. Freshwater Crawfish Cultural Methods: An Overview. *World Aquaculture*. 25(3):38-40 pp.
- Huang, W.B. and T.S. Chiu. 1997. Effects of stocking density on survival, growth, size variation, and production of tilapia fry. *Aquaculture Research*. 28: 165-173.

- Hutchins R., 1990. Backyard and small scale farming of red-claw. Proceedings of the seminar farming the red claw fresh water crayfish. Shelley C., Pearce M.C. eds. Northern Territory Department of Ports and Fisheries, Darwin Australia 1990. no. 21 p. 41.
- Hutchings, R. W. y H. Villarreal. 1996. Biología y cultivo de la langosta de agua dulce (redclaw) *Cherax quadricarinatus*. Manual de producción. Navimar, S. A. Guayaquil, Ecuador, 400 p.
- Jones, C.M. 1989. Aquaculture potential of *Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries, Fisheries Branch. Queensland, Australia. 45 p.
- Jones, C., 1990a. The biology and aquaculture potencial of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Queensland Departament of primary Industries, Información series No.Q190028, Brisbane, Queensland, 130 p.
- Jones, C., 1990b General biology of *Cherax quadricarinatus*. In: C.C. Shelly and M. Pearce, eds. Farming the red-claw freshwater crayfish. NT Department of Primary Industry and Fisheries Report No. 21. Northern Territory, Australia. 1-6 pp.
- Jones, C.M. and Curtis, M.C. eds. 1994. Redclaw farming. Proceedings of the redclaw farming workshops, Feb 12-17, 1994. Walkmain, Rockhampton, Nambour. Queensland Department of Primary Industries. 69 pp.
- Jones, C.M. 1995a. Production of juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda, Parastacidae) 1. Development of hatchery and nursery procedures. Aquaculture. 138 (1-4): 221-238.
- Jones, C.M. 1995b. Production of juveniles redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda, Parastacidae) 2. Juvenile nutrition and habitat. Aquaculture. 138 (1-4): 239-245.

- Jones C.M. 1995c. Evaluation of six diets fed to redclaw, *Cherax quadricarinatus*, (Von Martens) held in pond enclosures. *Freshwater Crayfish* 10: 469-479.
- Jones, C.M. and I.M., Ruscoe. 1996. Production technology for redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. Final report FRDC Project 92/119. Fisheries Research and Development Corporation, Canberra. 19p.
- Jones C., 1999. A Handbook for farmers and investors. Redclaw Crayfish. Inf-Ser-Dep-Prim-Ind-Queensl Brisbane, -Qld-Australia QDPI 2000 36 pp.
- Jones. C.M., and Ruscoe, I.M., 2000. Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda:Parastacidae), cultured under earthen pond conditions. *Aquaculture* 189, 63-71.
- Jory, 1996. Technical marine shrimp farming session at WAS meeting in Bargkok Thailand. *Aquaculture Magazine* 22(2): 89-94.
- Jory, D.E. 2001. Manejo integral del alimento de camarón, de estanques de producción camaróneros, y principios de bioseguridad. Compiladores: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., tapia-Salazar, M., García-Flores, A. Peña-Ortega, L.O., Navarro-González., H.A. Curso Lance en Acuicultura, 26-30 de marzo, 2001. Monterrey Nuevo León México. 76 p.
- Jussila, J., 1997. Physiological responses of Astacid and Parastacid crayfishes (Crustacea: Decapoda) to conditions of intensive culture. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences. Perth, Western Australia. 136 p.
- Karplus,-I.; Barki,-A.; Cohen,-S.; Hulata,-G., 1995. Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel I. Polyculture with fish in earthen ponds. *Israeli Aquaculture Bamidgeh*, no. 1, pp. 6-16.

- King, C.R. 1994. Growth and survival of redclaw crayfish *hatchlings* (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of *Cherax quadricarinatus* and *Cherax destructor* for culture in Queensland. *Aquaculture*, 122:75-80.
- Khota, S.R. and D.B. Rouse. 1997. Policulture of redclaw crayfish, (*Cherax quadricarinatus*) with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Annual Meeting of the National Shellfisheries Association, Fort Walton Beach, FL (USA), 20-24 April, 1997.
- Lawrence, A.L., M. Velasco, R. Montoya, & T.M. Samocha. 1998. Shrimp feed management effect on effluent water quality. In: D.E. Jory, editor. Proceedings of the First Latin American Shrimp Farming Congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panamá.
- Leber, K.M. & G.D. Pruder. 1988. Using experimental microcosms in shrimp research: the growth enhancing effect of shrimp pond water. *Journal of the World Aquaculture Society* 19: 197-203.
- Lem, A; Shehadeh, ZH. 1997. International trade. Review of the state of world aquaculture. No.886, Rev.1, pp.80-85.
- López-López, S., Nolasco-Soria, H., Villarreal-Colmenares, H., and Civera-Cerecedo, R. 2003. Characterization of digestive gland esterase-lipase activity of juvenile Redclaw *Cherax quadricarinatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*. 135(2): 337- 347.
- Love, G. & D. Langenkamp. 2003. Australian Aquaculture: Industry profiles for related species. ABARE eReport 03.8, Prepared for the Fisheries Resources Research Fund. Canberra, May. 126 p.

- Maldonado-García M. 2004. Estudio de la biología reproductiva del róbalo paleta *Centropomus medius* (Gunther 1864) para su aplicación en acuicultura. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 106 p.
- Martínez 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.
- Martínez Cordova, L., Villarreal Colmenares, H., Porchas Cornejo, M., Naranjo Páramo J. and Aragón Noriega, E. A. 1997. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. *Aquaculture Engineering*, 16:85-90.
- Martínez Cordova, L., Porchas Cornejo, M., Villarreal Colmenares, H. Calderón Pérez, J. and Naranjo Páramo, J. 1998a. Evaluation of three feeding strategies on the culture of white shrimp *Penaeus vannamei* Boone, 1931 in low water exchange ponds. *Aquaculture Engineering*. 17:21-28.
- Martínez Cordova, L. Porchas Cornejo, M., Villarreal Colmenares, H. and Calderón Perez, J. 1998b. Winter culture of yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* in aerated ponds with low water exchange. *Journal of the World Aquaculture Society* 29(1):129-133.
- Martinez-Cordova, L.R., H. Villarreal-Comenares, H. & M.A. Porchas-Cornejo. 1998c. Response to aeration rate in low water exchange ponds farming white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone. *Aquaculture Research*. 29: 587-593.
- Martínez Cordova, L. Porchas Cornejo, M., Villarreal Colmenares, H., Campaña Torres, A., Pérez Alvidrez, L. and Naranjo Páramo, J. 1999. Alternative culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* and yellowleg shrimp, *Farfantepenaeus californiensis*, during the summer-fall and fall-winter season in Sonora, México. *Journal of Applied Aquaculture*. 9(3)67-73.

- McIntosh, R.P. 2000. Changing paradigms in shrimp farming. III. Pond design and operation considerations. *The Global Aquaculture Advocate* 3(1): 42-45.
- Meade, ME; Watts, SA. 1995a. Weight gain and survival of juvenile australian crayfish *Cherax quadricarinatus* fed formulated feeds. *Journal of the world aquaculture society*. 26(4): 469-474.
- Meade, ME; Watts, SA. 1995b. Growth efficiency of hatchling australian crayfish, *Cherax quadricarinatus*, cultured at various temperatures and salinities. *Aquaculture a95 u book of abstracts*. VP.
- Medley B. P., R. G. Nelson , L. U. Hatch, D. B. Rouse and G. F. Pinto. 1994. Economic feasibility and risk analysis of australian Red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* Aquaculture in the Southeastern united states. *Journal of the World aquaculture Society*, 25(1):135-146 pp.
- Menasveta, P. 1997. Mangrove destruction and shrimp culture systems. *World Aquaculture* 28: 36-42.
- Mills, B. J. and P.I. McCloud. 1983. Effects of ostocking and feeding rates on experimental pond production of the crayfish *Cherax destructor* (Decapoda:Parastacidae) *Aquaculture*, 43:51-72 pp.
- Morrisy, N.M. 1989. A standard reference diet for crustacean nutrition research. IV. Growth of freshwater crayfish *Cherax tenuimanus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20: 114-117.
- Nerrie, B.L.; Hatch, L.U.; Engle, C.R. and R.O. Smitherman. The economics of intensifying catfish production: A production function analysis. *Journal of the World Aquaculture Society*. 21 (3): 216-224.
- Naranjo, P. J. 1999. Efecto de la densidad de siembra durante las fases de precría y la engorda monosexual de *Cherax quadricarinatus*, en sistemas de producción comercial. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico del Mar. Guaymas Sonora, México. 80 p.

- Naranjo-Páramo, J., Hernández-Llamas, A., and Villarreal-Colmenares, H. 2004. Effect of stocking density on growth, survival and yield of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda:Parastacidae) in gravel-lined commercial nursery ponds. *Aquaculture*. 242(1-4):197-206.
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J. & M. Williams. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science* 282: 883-884.
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & M. Troell. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405: 1017-1024.
- Pinto, G.F., Rouse, D.B., 1996. Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds. *J. World Aquac. Soc.* 27(2), 192-197.
- Pruder, G.D., Brown, C.L., Sweeney, J.N. & W.H. Carr. 1995. High health shrimp systems: seed supply - theory and practice. *In*: C.L. Browdy and J. S. Hopkins, editors. *Swimming Through Troubled Water*, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA pp. 40-52.
- Rendón Rumualdo M. 2002. Efecto de la frecuencia alimenticia en el crecimiento de juveniles de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (Redclaw). Tesis de Licenciatura. Escuela superior de Ecología Marina. Acapulco México. 79pp.
- Roe, H.J., Bailey, J.M., Gray, R.R. y Robinson, J.N. 1961 Complete removal of glycogen from tissues by extraction with cold trichloroacetic acid solution. *J. Biol. Chem.*, 236, 1224-1246.

- Ritvo, G.; Dixon, J.B.; Neill, W.H.; Samocha, T.M. and A.L. Lawrence. The Effect of Controlled Soil Sulfur Concentration on Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society. 31 (3): 381-389.
- Romero, X.M. 1997. Production of redclaw crayfish in Ecuador. World Aquaculture 28(2): 5-10.
- Romero, X.M. 1998. Alter the bubble burst: redclaw farming in Ecuador. Crayfish NEWS 20(3): 7-8.
- Rubright, J.S., J.L. Harrel., H.W. Holcomb y J.C. Parker. 1981. Response of planktonic and benthic communities to fertilizer and feed applications in shrimp mariculture ponds. Journal of world Marivulture Society. 12(1):281-299 pp.
- Russo, R.C. and Thurson, R.V. 1991. In, Aquaculture and Water Quality (DE Brune, JR Tomasso, eds.), 58-59. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Sagi, A., Ra'anan, Z., Cohen, D. & Y. Wax. 1986. Production of *Macrobrachium rosenbergii* in monosex populations: yield characteristics under intensive monoculture conditions in cages. Aquaculture 51: 265-75.
- Salame, M. 1993. Feeding trays in penaeid shrimp ponds. Aquaculture Magazine 19(4): 59-63.
- Sandifer, P.A., Hopkins, J.S., Stokes, A.D., and C.L. Browdy. 1993. Development of intensive pond culture of marine shrimp in South Carolina: from research to commercial reality. From Discovery To Commercialization. Carrillo, M., Dahle, L., Morales, J., Sorgeloos, P., Svennevig, N., and J., Wyban, eds. Oostende Belgium European Aquaculture Society 19: 166.

- Sandifer, P.A. and J.S. Hopkins. 1996. Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. *Aquacultural Engineering* 15(1): 41-52.
- Sandifer, P.A. and T.I.J. Smith. 1997. Intensive rearing of postlarval Malaysian prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) in closed cycle nursery system. *Proceedings of the World Mariculture Society* 8: 225-235.
- Saucedo-Lastra, P.E. 2001. Investigación aplicada al acondicionamiento gonadal y reproducción de la madreperla de Calafia. *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en el laboratorio. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones biológicas del Noroeste, S.C. 186 p.
- Serrano-Pinto, V., Vazquez-Boucard, C., Villarreal-Colmenares, H., and Civera-Cerecedo, R. 2003. Yolk proteins during ovary and egg development of mature female freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Comparative Biochemistry and Physiology- Part A. Molecular & Integrative Physiology*. 134(1): 33-43.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J., 1984. *Biometry. The principles and practices of statistics in biological research*, 2nd ed. Freeman, New York, 859 p.
- Steeby, J.A. 2004. Modeling industry-wide sediment oxygen demand and estimation of the contribution of sediment to total respiration in commercial channel catfish ponds. *Aquacultural engineering*. 31 (3-4): 247-262.
- Strikland, J.D. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish Res. Board, Can. Bull. No. 167, 2nd. 310 p.
- Suresh, V. & J. Zendejas. 2000. Environmentally friendly feeds: trends and recent developments. *Global Aquaculture Advocate* 3(2): 39-42.
- Tacon, A.G.J. 1996. Feeding tomorrow's fish. *World Aquaculture* 27: 20-32.
- Tacon, A.G.J 1997. Contribution to food fish supplies. In: *Review of the State of the world Aquaculture*. FAO Fisheries Cir. #FIRI/C886 (Rev. 1). pp. 17-21.

- Tacon, A.G.J. and I.P. Forster. 2000. Trends and challenges to aquaculture and aquafeed development in the new millennium. *In*: L.E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.A. Olvera-Novoa, and R. Civera-Cerecedo, editors. *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Mérida, Yucatán, México 11 p.
- Tacon, A.G.J. 2000. Rendered animal by-product. *Global Aquaculture Advocate* 3(4): 18-19.
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P. & O.E. Decamp. 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition* 8: 121-137.
- Teichert-Coddington, D.R., Rouse, D.B., Potts, A. & C.E. Boyd. 1999. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering* 19: 147-161.
- Tidwell, H.J. & G.L. Allan. 2001. Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. EMBO reports. *European Molecular Biology Organization* 21(11): 958-963.
- Torrans, E L. 2001. Intensifying production of channel catfish *Ictalurus punctatus* in earthen ponds.
- Usha-Rani, G., T. Chandra Redi y K. Ravindranath. 1993. Economic of brackishwater prawn farming in Nellore District of Andhra Pradesh State, India. *Journal of Aquaculture in the Tropics*. 8(2):221-230 pp.
- Velasco, M., A.I. Lawrence.,F.L. Castille. 1999. Effect of variation in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei*. (Boone), in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture*. 179, 142-148 pp.

- Villarreal H. 1989. Feeding, growth and energetic of the freshwater crayfish *Cherax tenuimanus* (Smith) with special emphasis on its potencial for commercial culture. Ph.D. Thesis, U. of Queensland. 249 p.
- Villarreal H. y R.W. Hutchings. 1986. Presence of ciliate colonies on the exoesqueleton of the freshwater crayfish *Cherax tenuimanus* (Smith) [Decapoda: Parastacidae. Aquaculture 58: 309-312.
- Villarreal, H. 1988. Culture of the Australian freshwater crayfish *Cherax tenuimanus* (Marron) in Eastern Australia. Freshwater Crayfish 7: 401-408.
- Villarreal, H. 1990. Effect of temperature on oxygen consumption and heart rate of the Australian crayfish *Cherax tenuimanus* (Smith). Comp. Biochem. Physiol. A., 95A(1): 189-193.
- Villarreal, H., Hernandez-Llamas A. and R. Hewitt. 2003. Effect of salinity on growth, survival and oxygen consumption of juvenile brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes). Aquaculture Research, 34:187-193.
- Villarreal-Colmenares, H., Hernández-Llamas, A., Rivera, M.C., Millan, A. and Rocha, S. 2003. Effect of substitution of shrimp meal, fish meal and soy meal with red crab *Pleuroncodes planipes* (Stimpson) meal in pelleted diets for postlarvae and juvenile *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes). Aquaculture Research, 35:178-183.
- Villarreal, H. 2000. Cultivo de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (redclaw), una oportunidad para la diversificación de la industria acuícola. Memorias: tercer simposium internacional de acuicultura. AQUAMEXICO 2000. Mazatlán, México 5-7 octubre pp. 91-107.
- Villarreal, H. y J. Peláez. 1999. Biología y cultivo de langosta de agua dulce, *Cherax quadricarinatus*. Manual de Producción. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Acuacultivos Santo Domingo. 250 p.

- Villarreal, H., Naranjo, J. and Hinojosa, P. 1999. Effect of density on the growth, survival and biomass production of the Australian freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (red claw) in gravel-lined ponds in Ecuador. Aquaculture'99. Sydney, Australia. April 26-May 2.
- Williams, W. D. 1980. Australian freshwater life: The invertebrates of Australian inland waters. Macmillan, Victoria. 321 p.
- Wyban, A. J. and Sweeney N. J., 1989. Intensive shrimp growth trials in a round pond. Aquaculture 76: 215- 225.
- Yeh, H. S. and Rouse, D. B., 1995. Effects of water temperature, density and sex ratio on the spawning rate of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens). Journal of the World Aquaculture Society, 26: 160-164.
- Yussof, F.M. and C.D. McNabb. 1997. The effects of phosphorus and nitrogen on phytoplankton dominance in tropical fish ponds. Aquaculture Research. 28: 591-597.
- Yusoff, F.M.; Law, A.T. and J. Soon. 2003. The effects of oxidized and reduced conditions on phosphorus and ammonia concentrations in pond water-sediment microcosm. Journal of aquaculture in the tropics. 18 (1): 25-33.
- Ziemann, D.A., Walsh, W.A., Saphore, E.G. & K. Fulton-Bennett. 1992. A survey of water quality characteristics of effluent from Hawaiian aquaculture facilities. Journal of the World Aquaculture Society 23: 180-191.
- Yufera, M., A. Rodriguez y L.M. Lubian. 1984. Zooplankton ingestion and feeding behavior of *Penaues kerathurus* larvae reared in the laboratory. Aquaculture. 42:217-224 pp.
- Zar, J., 1999. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, 663 p.

Zendejas, J., 1991. Alimentos para camarón y sistemas de alimentación. En: Purina, S.A. Taller sobre el cultivo de camarón. Mazatlán, Sinaloa, Julio 17-19, 1991. 14 p.

Zendejas-Hernandez, J. 1994. La camaronicultura en México. Memorias del Seminario Internacional de Camaronicultura. Camarón'94. Mazatlan, México. 1-12 p.

ANEXO I

BASE DE CÁLCULO DE COSTOS DE INVERSION Y
OPERACIÓN, PARA GRANJA DE 10 HA PARA EL CULTIVO
DE *Cherax quadricarinatus* CON SISTEMA DE PRODUCCION
“NO OPTIMIZADO” (SPNO).

COSTO DEL PROYECTO CON SPNO.

COSTOS DE INVERSION

Terreno:

Para la construcción de 10 ha de espejo de agua se requiere un área de terreno plano de 20 ha, el costo asociado a ello es de \$ 250,000.00 (\$ 12,500.00/ha).

Costo del terreno: \$ 250,000.00

Construcción de estanques:

10 Ha de cultivo: 40 estanques de 2500 m² (10 de reproducción, 10 de precría y 20 de engorda).

El costo asociado con la construcción de estanques varía de acuerdo con la topografía, el tamaño de la granja y la forma del estanque. El cultivo de redclaw está mejor adaptado a estanques de 0.25 ha con dimensiones de 100 X 25 m, una pendiente del fondo de 1% y una profundidad promedio de 1 m. El área total requerida para un estanque de 0.25 ha es de 0.4 ha, considerando el acceso al estanque y el canal de drenaje.

Los cálculos se basaron en el hecho de que el volumen necesario para producir los bordos del estanque es igual al volumen de tierra del corte. El movimiento de tierra se estimó en 100,000 m³, a un costo unitario de \$ 20/m³ (\$ 2,000,000.00). Los estanques de reproducción llevan un recubrimiento de 15 cm en el fondo y bordos del estanque con piedra de río (375 m³ por estanque, \$80/m³), esto permite una producción adecuada de juveniles, el costo asociado con este recubrimiento de piedra es de \$ 30,000.00 por estanque (\$ 300,000.00 para 10 estanques de reproducción).

La tubería se subdivide en 2 tipos: tubería de suministro de agua y drenaje. Como se mencionó anteriormente, la tubería de entrada se utiliza para conducir el agua del pozo a los estanques. Se requiere una tubería de alta presión de PVC (PVCH) de 6" para la línea principal (900 m) y tubería PVCH de 4" para la línea de distribución (1,400 m). Adicionalmente, 10 metros de tubería flexible de 2" se requieren por estanque para el acceso de agua (400 m). Cuatro válvulas de 6", 4 válvulas de 4", 40 Tees de PVC de 4" con salida reducida a 2", 40 codos de 90° de 2" y 40 válvulas de 2" son necesarias para el control de flujo de agua. Para el drenaje se utilizan 1,000 m de tubería de 6", 40 codos de 90° de 6", 40 codos de 90° con empaques internos, 40 bridas de 6" con tornillos. El monto asociado con lo anterior es de \$ 784,140.00 (incluye instalación).

Los costos de construcción se describen a continuación:

Movimiento de tierra	\$ 2,000,000.00
Recubrimiento de piedra	\$ 300,000.00
Tubería y accesorios	\$ 784,140.00
Construcción de estanques	\$3,084,140.00

Equipamiento de pozo:

Se considera la adquisición del equipamiento de un pozo de 80 m de perforación, para garantizar el suministro de agua para la granja (600 gal/min), el costo asociado con esto incluye el la bomba de agua de 100 hp, transformador, cableado y accesorios lo que representa un monto de \$ 500,000.00.

Pozo: \$ 500,000.00

Generador de corriente eléctrica:

Se considera la adquisición de un generador de corriente eléctrica de 200 KVA, para operar los aireadores durante los cortes de energía en la zona en la época de huracanes. El costo del equipo es de \$ 528,000.00

Generador: \$ 528,000.00

Material eléctrico:

Se requiere de una instalación eléctrica para distribuir la corriente eléctrica del transformador hacia los edificios y cada uno de los estanques, para conectar los aireadores de 2 HP a cada estanque con arrancadores individuales. El monto para esta obra es de \$ 1,675,000.00 (incluye un transformador de 175 kva).

Costo de instalación eléctrica: \$ 1,675,000.00

Edificios

Los costos de construcción de oficinas (30 m² \$1,000.00/m²), almacén (30 m² \$1,000.00/m²), Laboratorios (12 m² \$1,000.00/m²) y sistema de 10 tanques de manejo de 4 m de diámetro (\$7,500.00 c/u), usados para el sorteo, selección y pre-empaque (312 m² \$250.00/m²) se definieron como sigue:

Oficinas y almacén:	\$60,000.00
Laboratorio:	\$12,000.00
Sistema de manejo de tanques:	\$153,000.00
Costo de edificios:	\$ 225,000.00

Escondrijos y Protección

El redclaw requiere de protección (escondrijos) en el estanque para optimizar el rendimiento del cultivo. Por lo tanto, se utilizarán bloques de cemento con cuatro divisiones, con precio unitario de \$6.00. Se requieren 650 bloques para cada estanque de reproducción, 4687 bloques para cada estanque de precría y 3750 para cada estanque de engorda, dando un total de 128,410 bloques. 500 moños de 9 hojas de malla nylon como protección para los juveniles se requieren en estanques de reproducción y 300 en cada estanque de precría. Un total de 72,000 arpillas de malla nylon (\$4 c/u) se requieren para construir los moños necesarios para el proyecto. Hilo alquitranado no. 16 para sujetar las arpillas (80 carretes (\$100 c/u).

Bloque de cemento	\$ 770,460.00
Malla nylon e hilo	\$ 296,000.00
Escondrijos	\$1,066,460.00

Equipo

En este grupo se consideraron 2 turboblower de 3 hp (\$ 18,042 c/u), 45 aireadores (Aire-O₂ de 2 hp), uno para cada estanque y 5 de repuesto (\$10,138.00 c/u), 2 motobombas de agua de 5 h.p. (\$7,000 c/u), un vehiculo (\$ 280,000), equipo de cosecha (contenedores de

plástico, redes: \$15,000), 1 balanza digital (0.01g) (\$3,800), 1 balanza (200 kg) (\$10,000) y equipo de monitoreo de calidad de agua, incluyendo un kit de análisis para 8 parámetros (\$8,000), 1 medidor de pH (\$2,500), 1 medidor de oxígeno (\$8,300) y 1 equipo de computo con impresora y 1 portátil (\$30,500).

Blowers	\$ 36,074.00
Vehículo	\$ 280,000.00
Gator	\$ 118,000.00
Aireadores	\$456,210.00
Equipo de cosecha	\$ 15,000.00
Motobombas de agua	\$ 14,000.00
Equipo de monitoreo	\$ 32,598.00
Equipo de computo	\$ 30,500.00
Costo de equipos	\$982,382.00

Reproductores

Se requiere la adquisición de 37,500 reproductores para iniciar la fase de reproducción en 10 estanques (3750/estanque). El precio del cada reproductor de 50-60 g es de \$ 50.00 (Total \$ 1,875,000).

Total: \$1,875,000.00

Entrenamiento técnico y manuales de operación

Se considera un entrenamiento técnico del personal que manejará la granja, dicho entrenamiento incluye un curso teórico práctico de 15 días en instalaciones del CIBNOR, el costo de dicho curso es de \$ 120,000.00. Se considera darlo antes del inicio de operaciones de la granja.

Se genera un manual de procedimientos específico para la granja, el cual tiene un costo de \$ 60,000.00

Entrenamiento técnico y manuales de operación: \$180,000.00 (Primer año).

COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN

Personal y mano de obra

Mano de obra, juveniles, alimentación, electricidad e intereses en la inversión inicial son los principales costos de operación, los cuales se describen a continuación:

El cultivo de redclaw es una operación que requiere de mano de obra adicional, en comparación con otros cultivos. La alimentación, cosecha y sorteo son realizados manualmente. El personal requerido para una granja de 10 ha incluye:

1. Gerente. Si el inversionista no tiene experiencia en acuicultura, se recomienda contratar una persona calificada. Su salario anual se consideró en \$260,000.00
2. Una Secretaria con conocimiento de contabilidad está a cargo de ventas, compras inventarios, logística y cuentas bancarias. Salario de: \$54,000.00
3. Dos supervisores de campo. Una persona con experiencia en acuicultura

comercial es necesaria. Salario anual individual de \$ 78,000.00

4. Personal de campo. 6 trabajadores a cargo de las labores rutinarias (cosecha, sorteo, alimentación, limpieza y mantenimiento de piscinas). Salario anual individual: \$60,000.00
5. Seguridad. Se requiere de dos guardias de seguridad y supervisión nocturna de operación. Salario anual individual de \$60,000.
6. Chofer. Se requiere de un chofer para el vehículo, para suministro de insumos a la granja. Salario anual individual de \$60,000.00.

El costo total de personal y mano de obra para una granja de 10 ha (precría-engorda) se resume abajo:

Gerente de operación	\$ 260,000.00
Administración	\$54,000.00
Supervisión	\$ 156,000.00
Personal de campo	\$ 360,000.00
Seguridad	\$ 120,000.00
Chofer	\$60,000.00
Costo de personal	\$1,010,000.00

Alimento

El costo de alimentación por año se estimó en base a un factor de conversión alimenticia de 1 kg de alimento balanceado suplementado por cada kilo de redclaw producido. Esto toma en cuenta la dependencia de redclaw en la productividad natural para su nutrición. El precio de raciones balanceadas para redclaw es de \$8.5/kg. Los rendimientos de producción se estimaron en 3.5 ton/ha/ciclo llevando a cabo 3 ciclos/año, se requiere un total de 52,500

kg de alimento, para engorda y 10,800 kg para reproducción, dando un total de 63,300 kg de alimento.

Costo del alimento: \$ 538,050.00

Juveniles

Se requiere de un total de 2,250,000 juveniles para lograr 3 ciclos por año a una densidad de 15 juveniles/m². El costo del juvenil es de \$ 0.32.

Costo de juveniles: \$ 712,972.00

Electricidad

El bombeo representa el consumo principal de energía de la granja (100 h.p.), sin embargo, la operación de los aireadores es también importante. El costo anual por energía eléctrica se calculó multiplicando el número de kilowatts consumidos por hora y la tarifa industrial de electricidad, que es \$0.8/kw. El consumo de energía se estimó como sigue:

1. Bomba de agua de 100 h.p. Para estimar el número de kilowatts, la capacidad de la bomba se multiplica por 0.75. Entonces: $100 \times 0.75 = 75 \text{ kw}$. Para una operación diaria de 24 horas, el costo es: $(24 \text{ hr/día})(365 \text{ días})(75 \text{ kw/hr})(\$1/\text{kw}) = \$657,000.00$
2. Aireadores. 40 aireadores de 2 h.p. operando por 24 horas/día representan un costo anual de : $(24 \text{ hr/día})(365 \text{ día})(60 \text{ kw/hr})(\$1/\text{kw}) = \$525,600.00$
3. Sistema de manejo de organismos, oficina, almacén: Se estimó un consumo de \$14,400.00

Costo de electricidad: \$ 1,197,000.00

Investigación y desarrollo

Un monto fijo de \$34,000 mensuales es el monto considerado para investigación y desarrollo. Se contempla la asesoría de alguna institución de educación superior para implementar un sistema de mejora continua al proceso productivo. Lo anterior basado en conocimiento científico que ayude a mejorar la competitividad de la empresa.

Costo de investigación y desarrollo: \$ 408,000.00

Combustible y mantenimiento de vehículo:

El costo anual de combustible se estimó del costo diario de viajes a recoger insumos de proveedores diversos para la granja. Se consideró un viaje redondo de 150 km. Una camioneta consume 1 litro de combustible por 6 km.

El costo por litro es \$ 5.9 La distancia recorrida en un año es de 54,750 km, que representan 9,125 litros de gasolina, que equivalen a \$ 53,837.50.

El mantenimiento de vehículo se consideró en siete servicios al año, con un costo de \$2,000.00 c/u. (\$14,000.00).

Combustible y manten: \$ 67,837.50

Servicios y suministros para oficina

Un monto fijo de \$ 24,000.00 se consideró para servicios básicos como teléfono, agua potable, y mantenimiento de oficina. Suministros para la oficina se estimaron en: \$15,000.00

Servicios y suministros de oficina: \$ 39,000.00

La Tabla I presenta los costos de inversión y operación para el desarrollo de una granja de 10 ha de cultivo (precría y engorda) de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*, utilizando el SPNO.

Tabla I. Costos de inversión y operación para producción de langosta de agua dulce en 10 ha de espejo de agua, con SPNO.

CONCEPTOS DE INVERSION	MONTO (\$)
Terreno	250,000.00
Construcción estanques	3,084,140.00
Pozo equipado	500,000.00
Generador eléctrico	528,000.00
Material e instalación eléctrica	1,675,000.00
Edificios	225,000.00
Escondrijos	1,066,460.00
Equipo	982,382.00
Entrenamiento y manual	180,000.00
Reproductores	1,875,000.00
SUBTOTAL (\$)	10,365,982.00
CONCEPTOS DE OPERACIÓN ANUAL	
Personal	1,010,000.00
Alimento	538,050.00
Electricidad	1,197,000.00
Combustible y mnto. Vehículo	67,837.00
Juveniles	712,972.00
Servicios y sum. Para oficina	39,000.00
Investigación y desarrollo	408,000.00
SUBTOTAL (\$)	3,972,859.00
TOTAL (\$)	14,338,841.00

La Tabla II presenta los indicadores financieros para un proyecto de granja de cultivo de langosta de dulce en 10 ha de espejo de agua, utilizando el SPNO.

Tabla II. Indicadores financieros para un proyecto de proyecto granja de cultivo de langosta de dulce en 10 ha de espejo de agua, utilizando el SPNO.

Parámetro	Valor
Tasa de descuento	13 %
Valor actual neto (VAN)	5,485,428.00
Tasa Interna de retorno (TIR)	25.2 %
Periodo de recuperación de capital (PRC)	6 años
Costo de producción/kg	\$ 75.7

BASE DE CÁLCULO DE COSTOS DE INVERSION Y
OPERACIÓN, PARA GRANJA DE 10 HA PARA EL CULTIVO
DE *Cherax quadricarinatus* CON SISTEMA DE PRODUCCION
“OPTIMIZADO” (SPO).

Los costos de inversión de capital en el SPO son más bajos (\$ 150,000 menos) con respecto al SPNO. Lo anterior es debido a que en este sistema se utiliza una bomba para el pozo de menor caballaje (100 HP vs 50 HP), los demás rubros son iguales al SPNO. Por lo anterior el total de costos de inversión en el SPO representa **\$ 10,215,982.00**

Enseguida se presentan los costos de operación que de acuerdo a los resultados de las variables optimizadas en el presente trabajo son las que varían.

COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN

Personal y mano de obra

Mano de obra, juveniles, alimentación, electricidad e intereses en la inversión inicial son los principales costos de operación, los cuales se describen a continuación:

El SPO de redclaw requiere de mano de obra adicional para realizar las 4 alimentaciones por día, en comparación al SPNO. El personal requerido para una granja de 10 ha con SPO incluye:

1. Gerente. Si el inversionista no tiene experiencia en acuicultura, se recomienda contratar una persona calificada. Su salario anual se consideró en \$260,000.00
2. Una Secretaria con conocimiento de contabilidad está a cargo de ventas, compras inventarios, logística y cuentas bancarias. Salario de: \$54,000.00
3. Dos supervisores de campo. Una persona con experiencia en acuicultura comercial es necesaria. Salario anual individual de \$ 78,000.00
4. Personal de campo. 8 trabajadores a cargo de las labores rutinarias (cosecha, sorteo, alimentación, limpieza y mantenimiento de piscinas). Salario anual

individual: \$60,000.00

5. Seguridad. Se requiere de dos guardias de seguridad y supervisión nocturna de operación. Salario anual individual de \$60,000.
6. Chofer. Se requiere de un chofer para el vehículo, para suministro de insumos a la granja. Salario anual individual de \$60,000.00.

El costo total de personal y mano de obra para una granja de 10 ha (precría-engorda) se resume abajo:

Gerente de operación	\$ 260,000.00
Administración	\$54,000.00
Supervisión	\$ 156,000.00
Personal de campo	\$ 480,000.00
Seguridad	\$ 120,000.00
Chofer	\$60,000.00
Costo de personal	\$1,130,000.00

El costo de alimentación por año se estimó en base a un factor de conversión alimenticia de 0.89 kg de alimento balanceado suplementado por cada kilo de redclaw producido. Esto toma en cuenta la dependencia de redclaw en la productividad natural para su nutrición. El precio de raciones balanceadas para redclaw es de \$8.5/kg. Los rendimientos de producción se estimaron en 4007.5 kg/ha/ciclo llevando a cabo 3 ciclos/año (60,112.5 kg/año), se requiere un total de 53,500.13 kg de alimento, para engorda y 9,612 kg para reproducción, dando un total de 63,112 kg de alimento.

Costo del alimento: \$ 536,452.00

Electricidad

El bombeo representa el consumo principal de energía de la granja (100 h.p.), sin embargo, la operación de los aireadores es también importante. El costo anual por energía eléctrica se calculó multiplicando el número de kilowatts consumidos por hora y la tarifa industrial de electricidad, que es \$1/kw. El consumo de energía se estimó como sigue:

Bomba de agua de 50 h.p. Para estimar el número de kilowatts, la capacidad de la bomba se multiplica por 0.75. Entonces: $50 \times 0.75 = 37.5$ kw. Para una operación diaria de 14 horas, el costo es: $(14 \text{ hr/día})(365 \text{ días})(37.5 \text{ kw/hr})(\$1/\text{kw}) = \$191,625.00$

Aireadores. 40 aireadores de 2 h.p. operando por 12 horas/día representan un costo anual de : $(12 \text{ hr/día})(365 \text{ día})(60 \text{ kw/hr})(\$1/\text{kw}) = \$262,800.00$

Sistema de manejo de organismos, oficina, almacén: Se estimó un consumo de \$14,400.00

Costo de electricidad: \$ 468,825.00

Investigación y desarrollo

Un monto fijo de \$34,000 mensuales es el monto considerado para investigación y desarrollo. Se contempla la asesoría de alguna institución de educación superior para implementar un sistema de mejora continua al proceso productivo. Lo anterior, basado en conocimiento científico que ayude a mejorar la competitividad de la empresa.

Costo de investigación y desarrollo: \$ 408,000.00

Combustible y mantenimiento de vehículo:

El costo anual de combustible se estimó del costo diario de viajes a recoger insumos de proveedores diversos para la granja. Se consideró un viaje redondo de 150 km. Una camioneta consume 1 litro de combustible por 6 km.

El costo por litro es \$ 5.9 La distancia recorrida en un año es de 54,750 km, que representan 9,125 litros de gasolina, que equivalen a \$ 53,837.50.

El mantenimiento de vehículo se consideró en siete servicios al año, con un costo de \$2,000.00 c/u. (\$14,000.00).

Combustible y manten: \$ 67,837.50

Servicios y suministros para oficina

Un monto fijo de \$ 24,000.00 se consideró para servicios básicos como teléfono, agua potable, y mantenimiento de oficina. Suministros para la oficina se estimaron en: \$15,000.00

Servicios y suministros de oficina: \$ 39,000.00

La Tabla III presenta los costos de inversión y operación para el desarrollo de una granja de 10 ha de cultivo (precría y engorda) de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*, utilizando el SPO.

Tabla III. Costos de inversión y operación para producción de langosta de agua dulce en 10 ha de espejo de agua, utilizando el SPO.

CONCEPTOS DE INVERSION	MONTO (\$)
Terreno	250,000.00
Construcción estanques	3,084,140.00
Pozo equipado	350,000.00
Generador eléctrico	528,000.00
Material e instalación eléctrica	1,675,000.00
Edificios	225,000.00
Escondrijos	1,066,460.00
Equipo	982,382.00
Entrenamiento y manual	180,000.00
Reproductores	1,875,000.00
SUBTOTAL (\$)	10,215,982.00
CONCEPTOS DE OPERACIÓN ANUAL	
Personal	1,130,000.00
Alimento	536,452.00
Electricidad	468,825.00
Combustible y mnto. vehículo	67,837.00
Juveniles	712,972.00
Servicios y sum. Para oficina	39,000.00
Investigación y desarrollo	408,000.00
SUBTOTAL (\$)	3,363,086.00
TOTAL (\$)	13,579,068.00

La Tabla IV presenta los indicadores financieros para un proyecto de granja de cultivo de langosta de dulce en 10 ha de espejo de agua, utilizando el SPO.

Tabla IV. Indicadores financieros para un proyecto de granja de cultivo de langosta de dulce en 10 ha de espejo de agua, utilizando el SPO.

Parámetro	Valor
Tasa de descuento	13 %
Valor actual neto (VAN)	13,788,305.00
Tasa Interna de retorno (TIR)	42.0 %
Periodo de recuperación de capital (PRC)	3 años
Costo de producción/kg	\$ 55.95