



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Posgrado en Ciencias del
Mar y Limnología

**COMPARACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO Y RENDIMIENTO BIOECONÓMICO ENTRE DOS ESPECIES DE
CAMARÓN (*Litopenaeus vannamei* Y *Farfantepenaeus duorarum*) EN EL SISTEMA DE ENGORDA
TRADICIONAL Y BIOFLOC TECHNOLOGY (BFT)**

T E S I S

que para optar por el grado académico de

Maestra en ciencias

(Biología Marina)

P r e s e n t a

Ecol. Alejandra Arbeláez Téllez

Directora de Tesis:
Comité Tutorial:

Dra. Martha Gabriela Gaxiola Cortes (UNAM)
Dr. Eucario Gasca Leyva (CINVESTAV)
Dr. Martín Federico Soto Jiménez (UNAM)

Sisal, Hunucma, Yucatán Octubre 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SOPORTE FINANCIERO



CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA CONACyT

“Alimentación y nutrición del camarón rosado del golfo de México
Farfatepenaeus duorarum durante el proceso de domesticación en la
UNAM en Yucatán”.

(Proyecto número 60824)

y beca de maestría

COMITÉ DE TESIS

MIEMBROS DEL COMITÉ

Dra. Martha Gabriela Gaxiola (UMDI, UNAM)

Dr. Eucario Gasca Leyva (CINVESTAV)

Dr. Martín Federico Soto Jiménez (UNAM)

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Federico Paez Osuna (UNAM)

Dr. Jesus Ponce Palafox (UNAM)

MIEMBROS EXTERNOS

Dr. Gerard Cuzon (IFREMER-COP, TAHITI)

Dr. Gaspar Poot (UADY)

M en C. Raul Villanueva (UNIVERSIDAD MARISTA)

EQUIPO DE COLABORADORES

M en C. Korynthia López (UMDI, UNAM)

M en C. Miguel Arévalo (UMDI, UNAM)

M en C. Manuel Valenzuela (UMDI, UNAM)

M en C. Carmen Galindo (UMDI, UNAM)

M. En C. Maribel Badillo (UMDI, UNAM)

Dr. Juan Carlos Maldonado (UMDI, UNAM)

Dr. Gilberto Jerónimo Moreno (UMDI, UNAM)

Dr. Mauricio Coelho Emerenciano (UDESC, BRASIL)

Adriana paredes (UMDI, UNAM)

Equipo de investigación "Programa camarón" (UMDI, UNAM)

DEDICADO A

Los seres que mas amo en el mundo: mi FAMILIA porque sin su apoyo y ánimos incondicionales no lograría cumplir todas mis metas, sueños y anhelos. Su presencia forma parte esencial de mi desarrollo como ser humano y como profesional. con todo mi amor esto es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme recibido y aceptado como estudiante de tan magna institución y por poner a mi disposición y confianza un sin número de instalaciones e infraestructura que son dignas de orgullo para todo América latina.

Al posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, principalmente a las personas que siempre se aguantan y reciben de buena manera nuestras quejas, reclamos, "favores", apuros llamadas y preocupaciones, Dra. Vilaclara, Lupita, Chantal, Diana y Gabriela Almaraz.

A mi guía y tutora Martha Gabriela Gaxiola, que mas que una tutora, es una amiga, una guía y una madre, gracias por creer en mi, por el apoyo incondicional, por la perseverancia, confianza, total dedicación y paciencia. Gracias, por mostrarme y enseñarme esa gran pasión por lo que hace.

Al Dr. Martin Soto y Dr. Gasca por sus comentarios y aportes al proyecto.

Al Dr. Gerard Cuzon por su dedicación, tiempo, paciencia y conocimientos compartidos.

Al M en C. Raúl Villanueva por su gran paciencia, por todo el tiempo dedicado a este proyecto, por no dejarme perder las esperanzas y perseverar. Gracias por las horas de discusiones, platicas y conocimientos compartidos. GRACIAS!!!

Al Dr. Gaspar Poot, por sus aportes, tiempo y dedicación.

Al Dr. Seijo, por su tiempo y conocimientos aportados

A Kory por su colaboración incondicional en el análisis de las muestras de agua, por la paciencia y conocimientos compartidos. Porque hasta que no lo hice bien no me dejo tranquila. Gracias por enseñarme a ser mejor en lo que hago.

A dos personas que formaron parte esencial de la segunda fase del proyecto, Alejandro Shirp y Mario Pote, gracias por todos los momentos de alegría, por su gran

dedicación, compromiso, buen trabajo y animo. Gracias por todas esos días de risa, construcción y baños en floc.

Al grupo de personas que formaron parte del equipo indispensable e incondicional para el desarrollo de los experimentos y análisis de datos, Miguel Arévalo, Manuel Valenzuela, Adriana paredes, y al equipo camarón de la UMDI.

Al nuevo papá y muy buen amigo Juan Carlos Maldonado, gracias por compartir tus conocimientos, por el apoyo y amistad.

A Carmen Galindo, por su apoyo y colaboración en toda la parte estadística y análisis de datos de bioenergética.

A Gilberto Jerónimo Moreno, que por cuestiones de la vida no lo seguimos teniendo con nosotros en vida, gracias por todos esos días de dedicación, gracias por mostrarme la gran pasión por el modelamiento y por la vida. Gracias!!!

A mi hermano, amigo, papa, roomie, maestro, Mauricio Emerenciano, gracias por compartir todos estos momentos, mañanas, viajes, familias, conocimientos, chiflidos, música, palabras, lagrimas, sonrisas, enojos, regaños, ánimos, alegría, pasión, sueños, metas y obvio como olvidar el sup ;). Gracias por ser incondicional y por recordarme siempre nada mas con tu actitud que siempre debo amar y disfrutar lo que hago, porque sin importar lo difícil que sea siempre todo cambia cuando le muestras una sonrisa. Gracias!!!! MAUUUUUU.

A mis compañeros y amigos de clases, Dani, Mel, Hepptors, Fran, serch, gracias por tan buenos momentos, por días de risa, aprendizaje y despiste, muchas gracias.

A mis colegas y amigos de la UMDI.

Gracias a todos los que colaboraron de manera significativa en el desarrollo experimental y de laboratorio de este proyecto, Zzaby correa, Jorge Lira, Itzel, Luis, Jorge Gamboa, Cristi, José Luis, Rhada, Leire, Miguel, Daniel, Oscar, Sarita. Gracias por todas las respirometrías llenas de sonrisas, cantos, bailes, cafés y mediciones. De verdad Gracias por el tiempo y voluntad ofrecidos.

A Susana Páez, hermana amiga incondicional, porque por mas que haya distancia, siempre estamos juntas, siempre nos apoyamos, nos escuchamos y nos alentamos, gracias por compartir tus sueños, dejarme acompañarte en tu camino y por estar en el mío.

A Jennifer Rey, por su amistad y apoyo incondicional, por las palabras de aliento y regaños (siempre bienvenidos por supuesto).

Gracias a todos mis amigos y personas que me han acompañado, apoyado, y echado porras durante todo este tiempo, Pablito, Nu, Esther, Andres, Chotito, Cristi, Juani (obvio mi maty), Anita la malita, Jose Luis, Radha, Chiapitas, Eli, chiva, Estefy, Jime, Mike, Gracias a todos!!!.

A Rodolfo y Fiona, por abrirme las puertas de su casa, por su amistad, apoyo y compañía.

A mi amada familia, por nunca haber dejado de creer en mi, por la confianza, amor y apoyo. Gracias por estar siempre a mi lado, por no dejarme desistir de mis metas, gracias por ser mi inspiración y por enseñarme que para hacer el cambio hay que caminar distinto.

Gracias a mi chaparrito (conguito), por ser mi amigo y compañía diaria, porque forma parte de todo este sin fin de sueños cambios y metas que estoy y seguiré cumpliendo.

Gracias a toda la comunidad de Sisal y amigos, Doña Chony, Popeye, Lorenzo, Wendy en fin a todos !!

Este trabajo fue realizado en la Unidad MuLidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M. con sede en Sisal, Yucatán bajo la codirección de la Dra. Martha Gabriela Gaxiola Cortés, el M.en C Mauricio Emerenciano y el Dr. Gilberto Jerónimo. Con el apoyo financiero del CONACYT-CIENCIA BASICA (60824).

Se agradece su participación en el proyecto a los técnicos académicos Ing. Miguel Arévalo, Biol. Gabriela Paltomino, Ing. Adriana Paredes, Biol. Manuel Valenzuela, M. en C. Ariadna Sánchez, M. en C. María de Carmen Galindo, M. En C. Maribel Badillo y M. en C. Korinthya Lopez. por su apoyo en las diferentes etapas de este trabajo.

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABLAS..... | XIV |
| LISTA DE FIGURAS..... | XVII |
| LISTA DE ANEXOS..... | XX |
| LISTA DE ABREVIATURAS | XXI |
| RESUMEN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 3 |
| INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES | 4 |
| JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA..... | 12 |
| PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 13 |
| HIPÓTESIS..... | 14 |
| Hipótesis 1. (Fisiología) | 14 |
| Hipótesis 2. (Análisis costo beneficio)..... | 14 |
| OBJETIVO GENERAL | 15 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 15 |
| CAPÍTULO 2 | 16 |
| ÁREA DE ESTUDIO..... | 17 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 19 |
| EXPERIMENTO 1..... | 19 |
| ANÁLISIS DE DATOS..... | 24 |
| EXPERIMENTO 2..... | 28 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| ANÁLISIS DE DATOS..... | 37 |
| DIAGRAMA DE FLUJO –FASES DEL PROYECTO | 50 |
| INFRAESTRUCTURA Y RECURSOS MATERIALES..... | 51 |
| <u>Origen y mantenimiento</u> | 51 |
| <u>Experimentos y análisis de muestras</u> | 51 |
| <u>Análisis de datos</u> | 52 |
| CAPÍTULO 3 | 53 |
| RESULTADOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| Litopenaeus vannamei..... | 53 |
| EXPERIMENTO I | 54 |
| <u>Parámetros fisicoquímicos</u> | 54 |
| <u>Zootecnia</u> | 55 |
| <u>Balance bioenergético</u> | 56 |
| EXPERIMENTO II | 58 |
| <u>Parámetros fisicoquímicos</u> | 58 |
| <u>Zootecnia</u> | 60 |
| <u>Balance bioenergético</u> | 67 |
| <u>ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO</u> | 70 |
| CAPÍTULO 4 | 77 |
| RESULTADOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| Farfantepenaeus duorarum | 77 |
| EXPERIMENTO I | 78 |

| | |
|---|------------|
| <u>Parámetros fisicoquímicos</u> | 79 |
| <u>Zootecnia</u> | 80 |
| <u>Balance bioenergético</u> | 81 |
| <u>EXPERIMENTO II</u> | 82 |
| <u>Parametros fisicoquimicos</u> | 82 |
| <u>Zootecnia</u> | 84 |
| <u>Balance bioenergético</u> | 90 |
| ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO | 92 |
| DISCUSION | 100 |
| CONCLUSIONES | 114 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 119 |
| ANEXOS | 132 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Unidades experimentales, sistema, raciones y tratamiento para el experimento 2. | 30 |
| Tabla 2. Descripción de los parámetros económicos utilizados en la evaluación bioeconómica. | 44 |
| Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor máximo y mínimo en la especie <i>Litopenaeus vannamei</i> en sistema de cultivo tradicional (Agua Clara) y Biofloc (BFT). | 55 |
| Tabla 4. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie <i>L. vannamei</i> | 56 |
| Tabla 5. Balance energético de <i>L. vannamei</i> en sistemas de biofloc y Agua Clara | 57 |
| Tabla 6. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en tratamiento de agua clara y BFT para <i>L. vannamei</i> | 57 |
| Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor mínimo y máximo en la especie <i>L. vannamei</i> en sistema de cultivo tradicional (Agua clara), BFT y las respectivas raciones para cada uno (tradicional y óptima). | 59 |
| Tabla 8. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie <i>L. vannamei</i> | 61 |
| Tabla 9. Valores de crecimiento para <i>L. vannamei</i> en los cuatro tratamientos con su respectiva desviación estándar. | 62 |
| Tabla 10. Consumo de oxígeno de Joules por hora por cámara para <i>L. vannamei</i> en los cuatro tratamientos. | 63 |
| Tabla 11. Comparación de los componentes de la ecuación de la ecuación de balance energético calculados por tratamiento en Joules de las corridas. | 68 |

| | |
|---|----|
| Tabla 12. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en los cuatro tratamientos..... | 69 |
| Tabla 13. Ajuste del modelo de crecimiento Von Bertalanfy para <i>L. vannamei</i> con su respectiva estadística de validación para los dos tratamientos. | 71 |
| Tabla 14. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el modelo bioeconomico en tratamiento BFT de <i>L. vannamei</i> | 73 |
| Tabla 15. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el modelo bioeconómico en tratamiento Agua Clara de <i>L. vannamei</i> | 74 |
| Tabla 16. Resultados a corto plazo de la simulación técnico-biológica y económica para los tratamiento de BFT y AC de la especie de <i>L. vannamei</i> | 76 |
| Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar en sistema de cultivo BFT y agua clara. | 79 |
| Tabla 18. Promedio de peso y ganancia de peso mensual por tratamiento con su respectiva desviacion estandar. | 80 |
| Tabla 19. Comparación de los componentes de la ecuación de balance energético calculados por tratamiento en Joules de las corridas nocturnas. | 81 |
| Tabla 20. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en tratamiento de agua clara y BFT | 82 |
| Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor mínimo y máximo en la especie <i>F. duorarum</i> en sistema de cultivo tradicional (Agua clara), BFT y las respectivas raciones para cada uno (tradicional y óptima). | 83 |
| Tabla 22. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie <i>F. duorarum</i> | 85 |
| Tabla 23. Valor de crecimiento para <i>F. duorarum</i> en los cuatro tratamientos con su respectiva desviación estándar. | 86 |
| Tabla 24. Consumo de oxígeno de cada una de las cámaras en Joule por número de hora por cámara en cada uno de los tratamientos para <i>F. duorarum</i> | 87 |

| | |
|--|-----------|
| Tabla 25. Valores de balance energético por Joules por organismo por día para <i>F. duorarum</i> en los cuatro tratamientos..... | 90 |
| Tabla 26. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida para <i>F. duorarum</i> en los cuatro tratamientos..... | 91 |
| Tabla 27. Ajuste del modelo de crecimiento Gompertz para <i>F. duorarum</i> con su respectiva estadística de validación para los dos tratamientos..... | 93 |
| Tabla 28. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el análisis de costo-beneficio en tratamiento biofloc de <i>F. duorarum</i>. | 95 |
| Tabla 29. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el análisis de costo-beneficio en tratamiento agua clara de <i>F. duorarum</i>. | 96 |
| Tabla 30. Resultados a corto plazo de la simulación técnico-biológica y económica para los tratamiento de BFT y AC de la especie de <i>F. duorarum</i>. | 98 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cosecha de <i>Litopenaeus vannamei</i> | 4 |
| Figura 2. Cosechadores de granja..... | 5 |
| Figura 3. A) Progenitor hembra de <i>Farfantepenaeus duorarum</i> (Foto: Arbelaez); B) Progenitor hembra de <i>Litopenaeus vannamei</i> (Foto: Briggs, M.) FAO. | 6 |
| Figura 4. Ejemplares de flóculos (agregados) microbianos formados en cultivos intensivos en la UMDI-Sisal (Foto: Mauricio Emerenciano; Aumento de 10x)..... | 7 |
| Figura 5. Cosecha parcial de camarón blanco en sistema biofloc, granja Blue Archipiélago (Foto: Blue Archipiélago)..... | 9 |
| Figura 6. Procesamiento de organismos cosechados. (Foto: Nyan Taw, 2009) .. | 10 |
| Figura 7. Área de estudio, UMDI de la FacuLa de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, Puerto de Sisal, municipio de Hunucmá, Yucatán, México. | 17 |
| Figura 8. Medición y control de volumen del biofloc. (Foto: Nyan Taw, 2009)..... | 20 |
| Figura 9. (a)Organismos en tara de aclimatación en el cuarto húmedo para continuar con la respirometría. (b) Sistema de respirometría con recirculación de Agua clara | 22 |
| Figura 10. (a) Proceso de titulación llevado a cabo en la caltormetría; (b) bomba caltormétrica (Foto: Alejandra Arbeláez y Celio Hernandez). | 23 |
| Figura 11. a) Consumo de oxígeno (mg/L) del ciclo circadiano; b) Anomalías de cada una de las cámaras; c) Componente más energético de oscilación temporal conjunta (CPA); d) Patrón del segundo modelo de oscilación de la CPA; e) Series de tiempos de la integral del consumo de oxígeno; f) Anomalías de las integrales de izquierda a derecha..... | 27 |
| Figura 12. Fondeos de captura de camarón rosado <i>Farfantepenaeus duorarum</i> , Celestún, Yucatán. | 29 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 13. Ejemplar de <i>Farfantepenaeus duorarum</i>..... | 29 |
| Figura 14. Material utilizado para el análisis de Amonio, Nitritos y Nitratos. | 31 |
| Figura 15. Iglú donde se llevaron a cabo experimentos II de la FASE II. | 32 |
| Figura 16. Instalaciones de dispositivo experimental. a) Sistema de Agua Clara, b) Sistema de BFT. | 32 |
| Figura 17. Mesocosmos y sedimentador utilizados en el sistema BFT. | 33 |
| Figura 18. Distribución de taras y organización del dispositivo experimental. ... | 34 |
| Figura 19. Ensamble de las taras en el sistema Agua Clara. | 35 |
| Figura 20. Ensamble de las taras en el sistema BFT. | 35 |
| Figura 21. - Sistema de respirometria para BFT | 37 |
| Figura 22. Modelo Bioeconómico. | 43 |
| Figura 23. Fases del componente experimental del proyecto. | 50 |
| Figura 24. FEO de la integral VAT..... | 64 |
| Figura 25. FEO de la integral VAO. | 65 |
| Figura 26. FEO de la integral VBO. | 66 |
| Figura 27. FEO de la integral VBT..... | 67 |
| Figura 28. Curva de crecimiento de ajuste del modelo Von Bertalanfy con datos simulados y datos observados en los sistemas de cultivo de BFT y AC | 72 |
| Figura 29. Estanques externos de la Unidad MuLidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI). (Foto: Manuel Valenzuela)..... | 79 |
| Figura 30. FEO de la integral de DAO..... | 88 |
| Figura 31. FEO de la integral de DBO..... | 88 |
| Figura 32. FEO de la integral de DAT. | 89 |

| | |
|--|------------|
| Figura 33. FEO de la integral de DBT. | 90 |
| Figura 34. Ajuste del modelo de crecimiento en el sistema de biofloc de la especie <i>F. duorarum</i> (contraste de datos observados versus los simulados). ... | 94 |
| Figura 35. Ejemplares de <i>F. duorarum</i> | 105 |
| Figura 36. Cultivointensivo de BFT en Malasya | 111 |

LISTA DE ANEXO

Anexo 1. Formato de biometrias

Anexo 2. Formato para medición de parámetros fisicoquímicos

Anexo 3. Formato para obtención de datos de caltorimetría.

Anexo 4. Formato obtención de datos de respirometria

Anexo 5. Imagen de Organismo de *L. vannamei* en cámara respirométrica de 2 L.

Anexo 6. Estanque de 2 Ton.

Anexo 7. Dispositivo para realizar respirometrias

Anexo 8. Captura a través de fondeos de *F. duorarum* en la Ría de Celestún.

Anexo 9. Tabla comparativa de parámetros zootécnicos fisicoquímicos y económicos en las dos especies durante los cuatro experimentos

LISTA DE ABREVIATURAS

- BFT- SISTEMA BIOFLOC TECHNOLOGY**
- AC- SISTEMA TRADICIONAL (AGUA CLARA)**
- VBO- TRATAMIENTO DE *L. Vannamei* EN SISTEMA BIOFLOC CON RACIÓN ÓPTIMA**
- VBT- TRATAMIENTO DE *L. Vannamei* EN SISTEMA BIOFLOC CON RACIÓN TRADICIONAL**
- VAO- TRATAMIENTO DE *L. Vannamei* EN SISTEMA AGUA CLARA CON RACIÓN ÓPTIMA**
- VAT- TRATAMIENTO DE *L. Vannamei* EN SISTEMA AGUA CLARA CON RACIÓN TRADICIONAL**
- DBO- TRATAMIENTO DE *F. Duorarum* EN SISTEMA BIOFLOC CON RACIÓN ÓPTIMA**
- DBT- TRATAMIENTO DE *F. Duorarum* EN SISTEMA BIOFLOC CON RACIÓN TRADICIONAL**
- DAO- TRATAMIENTO DE *F. Duorarum* EN SISTEMA AGUA CLARA CON RACIÓN ÓPTIMA**
- DAT- TRATAMIENTO DE *F. Duorarum* EN SISTEMA AGUA CLARA CON RACIÓN TRADICIONAL**
- FCA- FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA**
- ED- ENERGÍA DIRIGIDA**
- ER- ENERGÍA EN CONSUMO DE OXÍGENO**
- ENH₃- ENERGÍA EN PRODUCCIÓN DE AMONIO**
- RE- ENERGÍA RETENIDA EN CRECIMIENTO**
- E_{EX}- ENERGÍA CONSUMIDA PARA EL PROCESO DE MUDA**
- CPA- COMPONENTE DE OSCILACIÓN TEMPORAL CONJUNTA**
- FEO's- FUNCIONES EMPÍRICAS OCTOGONALES**

RESUMEN

La camaronicultura es un sector productivo que ha crecido notablemente en las últimas décadas, debido al aumento de la demanda de camarón. Esta actividad ha generado impactos ambientales negativos, por lo que se han dirigido esfuerzos a la implementación de diferentes sistemas de producción más amigables con el medio ambiente; por ejemplo, el sistema Biofloc (BFT por sus siglas en inglés), el cual se basa en un recambio limitado de agua, una aireación fuerte, con microbiota predominantemente aeróbica y heterotrófica. En la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI), de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se comparó el balance energético de dos especies de camarones peneidos, camarón rosado del golfo de México (*Farfantepenaeus duorarum*) y camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), en el sistema tradicional (Agua clara) y en el sistema de Biofloc (BFT). Se calculó una ración óptima de alimento para cada una de las especies (Factor de Conversión Alimenticia FCA de 1.34:1 para *L. vannamei* y de 1.50:1 para *F. duorarum*). Con el objetivo de evaluar el rendimiento fisiológico de las dos especies en los dos sistemas y corroborar que se puede disminuir la cantidad de alimento ofertado en el sistema de BFT, se realizó una comparación con una ración tradicional (FCA 2.03:1 para *L. vannamei* y 2.11:1 para *F. duorarum*), la cual fue obtenida de tablas nutricionales de alimento comercial (15kJ g^{-1} Energía digerida). Para el experimento se sembraron postlarvas de las dos especies durante 90 días, en 40 tinas con capacidad de 60 L cada una y una densidad inicial de 7 camarones/m³ (5 réplicas por tratamiento). La supervivencia en los dos sistemas varió entre el 60 y el 90 %. Se presentaron diferencias significativas en cuanto al crecimiento entre los dos sistemas de cultivo, siendo mayor la biomasa final para los organismos de BFT. Se realizaron tomas de datos de parámetros fisicoquímicos diarios, en cada una de las tinas, manteniendo valores promedio de salinidad (36-37), temperatura (26-27 °C), pH (7.0-8.1) y oxígeno disuelto en el agua (4.0-5.5 mg L⁻¹). Se realizaron pruebas de concentración de amonio (0.0-0.15 mg L⁻¹), nitrito (0.01-1.02 mg L⁻¹) y nitrato (0.15-2.14 mg L⁻¹) en el agua dos veces por semana. Igualmente, se realizó una biometría inicial y otra final (ver capítulo 3 y 4). Para cada una de las especies se evaluaron los gastos de energía de los individuos en los dos sistemas (BFT y AC) y dos raciones (óptima y tradicional), mediante la respirometría y calorimetría para realizar el análisis del balance energético. Se obtuvo que las estrategias de distribución de energía son diferentes

para los dos sistemas y las dos raciones, principalmente en los valores obtenidos para energía digerida ($2.6 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT ración tradicional *L. vannamei*, $2.4 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT ración óptima *L. vannamei*, $3.3 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para agua clara ración tradicional *L. vannamei*, $2.4 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para agua clara ración óptima *L. vannamei*, $1.6 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT ración tradicional *F. duorarum*, $1.5 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT ración óptima *F. duorarum*, $1.2 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para agua clara ración tradicional *F. duorarum*, $1.4 \text{ kJ día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para agua clara ración óptima *F. duorarum*). Se evidenció una mayor cantidad de energía digerida (ED) por los organismos cultivados en BFT con ración óptima, con respecto a los de AC. Por ende, el alimento comercial ofertado puede disminuirse significativamente implementado dicho sistema. Considerando factores biológicos, de manejo y económicos (ver capítulo 2), se efectuó un análisis económico de costo-beneficio de las especies en los dos sistemas. La proporción (costo-beneficio) fue en algunos casos negativa ($\$-454.9$ agua clara, $\$1$ en BFT para *L. vannamei* y $\$0.67$ en agua clara y en $\$0.74$ BFT para *F. duorarum*), por lo cual se concluye que es necesario hacer una revisión y análisis de los costos y gastos implicados en los sistemas de producción. Cabe resaltar que la especie con mayores cualidades fisiológicas y mejor relación costo-beneficio fue *L. vannamei*.

Palabras clave: camaronicultura, BFT, bioeconomía, bioenergética, sistema de cultivo, intensificación

CAPÍTULO 1

- **INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**
- **JUSTIFICACIÓN ACADEMICA**
- **HIPOTESIS**
- **OBJETIVO GENERAL**
 - **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La camaronicultura en los últimos años ha tenido un incremento significativo debido a la disminución de los stocks silvestres y sobreexplotación durante décadas, a las demandas de los mercados de Estados Unidos, Europa y Japón, como también al progreso tecnológico en los cultivos (FAO, 1999). No obstante, zonas que se dedicaban a cultivos en escala regional se han ido expandiendo a granjas de grandísimas extensiones. Sin embargo, los métodos tradicionales de producción de camarón pueden presentar altos impactos negativos en el medio ambiente circundante a dichas granjas dentro de los cuales están, el uso constante de grandes cantidades de agua, eutroficación, transformación del paisaje, descarga de aguas hipersalinas, fugas de especies invasoras, epizootias (Chavez & Montoya, 2004) entre otros.



Figura 1. Cosecha de *Litopenaeus vannamei*

En el panorama de la producción acuícola, dentro de la actividad, la camaronicultura ha sido la que ha demostrado un desarrollo exponencial más grande con respecto a las demás actividades en los últimos años, esto ha sido a causa de las altas demandas del mercado, progreso tecnológico, y la disminución de stocks silvestres (Páez-Osuna, 2001). No obstante, se ha aumentado la preocupación por buscar métodos y alternativas que sean más viables económicamente, más amigables con el medio ambiente y que posean una mayor bioseguridad ya que en la década anterior enfermedades como la mancha blanca, Taura, cabeza amarilla y el IMNV afectaron significativamente las poblaciones de estos crustáceos (Emerenciano, 2007). A causa

de esto, el cultivo de camarón ha estado atravesando un periodo de transición, debido a los cambios en los mercados, como la estrategia antidumping impuesta por los norteamericanos (Emerenciano, 2009), y la proliferación de patógenos hace que se aumente la necesidad de implementar métodos sustentables que disminuyan los impactos ambientales. Y, como resultado práctico, generar y obtener mayores beneficios sociales, económicos y ambientales.



Figura 2. Cosechadores de granja

Dentro de las principales especies objeto de explotación en la producción de camarón esta el camarón blanco *L. vannamei* nativo de la costa oriental del Océano Pacífico, desde Sonora, México al Norte, hacia Centro y Sudamérica hasta Tumbes en Perú, presente en aguas cuya temperatura es normalmente superior a 20°C durante todo el año. *L. vannamei* (Figura 1) se encuentra en hábitats marinos tropicales. Desde los inicios de su cultivo en condiciones controladas a tenido un gran éxito debido a su resistencia, buen crecimiento y supervivencia. A causa de esto se convirtió en la especie más cultivada en el mundo, en países como China, México, Guatemala, Estados Unidos, Brasil, Tailandia, Indonesia entre otros (FAO, 2006). Sin embargo, tuvo un declive significativo en su producción, en la década de los 80's debido a la irrupción de enfermedades y virus que afectaron significativamente su producción. Por otro lado tenemos al camarón rosado del golfo de México *F. duorarum* (Figura 3) que se caracteriza por ser una especie nativa de esta región y de alto valor comercial. El camarón rosado ha sido víctima de las actividades petroleras en la región y operaciones marinas que se han venido desarrollando en el golfo de México (Balcom, 1994 & Rosas *et. al*, 2007). La pesquería de esta especie fue la más importante del

golfo de México en términos de volumen en el siglo pasado con un rendimiento máximo sostenible estimado entre 4,000-11,000 toneladas anuales (Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). Sin embargo, en la actualidad su disminución poblacional es evidente (Emerenciano, 2010).



Figura 3. A) Progenitor hembra de *Farfantepenaeus duorarum* (Foto: Arbelaez); B) Progenitor hembra de *Litopenaeus vannamei* (Foto: Briggs, M.) FAO.

Por estas razones en los últimos años se proponen diferentes alternativas de producción acuícola sustentables o más amigables con el medio ambiente ya que como se mencionó anteriormente la camaronicultura puede presentar un alto impacto ambiental en sus ecosistemas adyacentes. No obstante, otro punto importante son los beneficios económicos y sociales a corto, mediano y largo plazo, requisito básico en la sustentabilidad en la acuicultura (Arana, 1999).

El sistema basado en recambio limitado de agua “*Biofloc Technology*” BFT es uno de los sistemas sustentables propuestos por algunos expertos en el tema (Schryver *et. al.*, 2008). Dicho sistema se basa en la formación *in situ* de agregados microbianos, formados por microalgas, protozoos, nematodos y otros, junto con detritos y partículas de materia orgánica (Avnimelech, 2009) en la Figura (4) podemos observar algunos de ellos. En este medio de cultivo el limitado recambio de agua es la base del sistema. Los nitritos y el amonio formados por el alimento no consumido y no digerido son “secuestrados” por los microorganismos presentes en el agua formando proteína microbiana de alto valor nutricional (Emerenciano *et. al.*, 2007; Azim *et. al.*, 2008). Esta manera biosegura y razonable de reciclaje de nutrientes, se encuadra perfectamente dentro de los nuevos retos de la moderna acuicultura (Naylor *et. al.*, 2000).

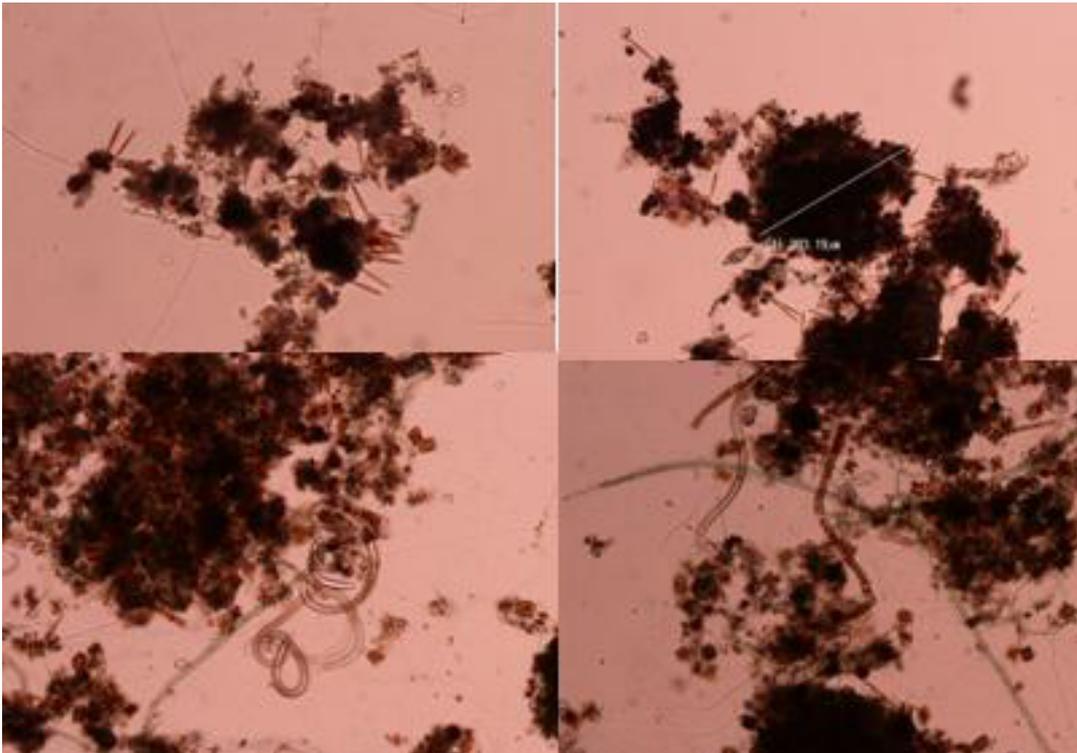


Figura 4. Ejemplares de flóculos (agregados) microbianos formados en cultivos intensivos en la UMDI-Sisal (Foto: Mauricio Emerenciano; Aumento de 10x).

Los sistemas de producción que presentan mayor bioseguridad (como los sistemas BFT) se han convertido en los más optados por las granjas acuícolas, abiertas a recibir nuevas tecnologías, debido a que el crecimiento desmesurado de estas en las últimas décadas ha tenido resultados desastrosos con las epizootias ocurridas como la mancha blanca (WSSV), Síndrome del Taura (TSV), Necrosis infecciosa hypodermal y hematopoyética (IHNV), Necrosis Baculoviral de la Glándula Intestinal (BMN), Vibriosis entre otras (FAO,2008). Como resultado, ha causado grandes pérdidas económicas y ha puesto en riesgo la permanencia de la industria (Lee, 2005). La mayor concentración de granjas de producción acuícola se encuentra en Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Nayarit considerando que en estos estados se concentra más del 90% de la capacidad instalada, la producción acuícola nacional está en riesgo (120 mil toneladas).

Las nuevas tecnologías son un gran reto para los científicos, investigadores y acuicultores debido al uso por décadas de los sistemas de producción tradicionales con circulación constante de agua clara, lo cual lleva a tener algunas dificultades para lograr un cambio de perspectivas de los actores directos relacionados con el tema. Para obtener esto, es necesario seguir en el proceso de desarrollo e investigación de

tecnologías más amigables que permitan soportar y justificar tanto de manera científica, como socio-económica su utilización, en este caso de los cultivos BFT. Por esta razón varios centros de investigación y granjas acuícolas a nivel mundial han estado en la búsqueda del mejoramiento de dicho sistema. La Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) ubicada en el Puerto de Sisal en el estado de Yucatán perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), los últimos años ha venido realizando investigaciones a cerca de las ventajas y desventajas nutricionales, bioenergéticas, bioquímicas, fisiológicas, reproductivas, ecológicas y económicas del sistema BFT, las cuales se han llevado a cabo fundamentalmente con la colaboración de estudiantes, científicos, expertos y pioneros en el tema.

La tasa actual de producción acuícola necesita sobrellevar el problema de la escasez de abastecimiento de proteínas alimenticias de origen animal, las cuales han sido limitadas por las condiciones ambientales y económicas (Schryver *et. al*, 2008). Estos problemas han sido generados por los impactos producidos por el mismo sector en cuestión. No obstante, los agregados microbianos o bioflocs resultan como alimento adicional para las especies cultivadas brindando al sistema un modo más ecológico de producción (Emerenciano, 2008). La demanda por una calidad óptima en la nutrición de algunas especies de producción acuícola es muy rigurosa y específica (Guillaume *et al*, 2001). Un ejemplo es con la piscicultura marina, donde en algunas ocasiones se requiere de 1- 5 Kg de pescado capturado en la mar para producir un solo kg de pez de origen acuícola, lo cual nos representa una manera no sustentable para la producción de alimento (Naylor *et. al*, 2009). Esto lleva a reflexionar acerca de los sistemas de cultivo que suplen la demanda humana de algunos productos.

Debido a los factores antes mencionados la propuesta de sistemas más amigables con el medio ambiente les pueden brindar una oportunidad de mejoramiento y rendimiento potencial en los aspectos económicos a los acuicultores.

La Bioeconomía es un cambio paradigmático de la evolución de las disciplinas cuya principal tarea es investigar los problemas que surgen del impacto de la empresa humana sobre el medio ambiente. Estos problemas no se deben sólo a causas puramente biológicas ni sólo a causas puramente económicas. Se deben, más bien, a las interacciones entre estas causas; es decir son bioeconómicas (Mohammadian, 2004).



Figura 5. Cosecha parcial de camarón blanco en sistema biofloc, granja Blue Archipiélago (Foto: Blue Archipiélago)

Los modelos bioeconómicos consisten principalmente en el desarrollo de modelos matemáticos donde se tienen en cuenta aspectos biológicos, técnicos y económicos de la producción en un determinado sector (Cacho, 1997). Este tipo de modelos tiene antecedentes en el análisis de pesquerías y han sido adaptados de diversas formas a la acuicultura, en trabajos como los de Allen *et al.*, (1984); Bjørndal (1988); Leung and Shang, (1989); Cacho *et al.*, (1990); Springborn *et al.*, (1992); Cacho, (1997); D. Ponce *et al.*, (2005); donde se muestran la utilidad de estos modelos como herramienta de evaluación. Sin embargo, se realizó un análisis de costo beneficio con el fin de valorizar la evaluación que se relacionó con las utilidades en el capital invertido o el valor de la producción con los recursos empleados y el beneficio generado.



Figura 6. Procesamiento de organismos cosechados. (Foto: Nyan Taw, 2009)

Para lograr llevar a cabo estos modelos y proveer mayor información acerca del comportamiento de las especies a estudiar en las dos alternativas de producción se van a implementar estudios de bioenergética de ellos.

La bioenergética o energética nutricional es una rama de la ecofisiología basada en el estudio del balance entre el aporte de energía dietaria, el gasto y la ganancia, y requiere de un examen de los procesos fisiológicos por los cuales la energía es transformada en tejido animal (Cho y Bureau, 1999). Esto permite proveer mayor información para la optimización de las dietas y del comportamiento de las especies. Por esta razón, el análisis bioenergético es básico para conocer la evaluación de los costos de energía de los individuos que forman parte de una población que crece y se reproduce en un ecosistema o sistema de cultivo determinado (Rosas *et al*, 2003). En este sentido los individuos tienen intervalos limitados de tolerancia a factores fisicoquímicos (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, entre otros) que, por ejemplo, determinan su distribución. Así esos estudios de tolerancia fisiológica nos permiten generar modelos para predecir un estado fisiológico óptimo para un organismo o especie en particular (Rosas *et al*, 2003) y, como resultado, lograr la implementación del cultivo y reproducción en ambientes controlados.

Este estudio provee la comparación del rendimiento fisiológico de camarones de la especie *F. duorarum* y *L. vannamei* en cultivos tradicionales y cultivos con recambio limitado de agua en tecnología biofloc (BFT), y la ración óptima de consumo de

alimento comercial para las dos especies en el sistema de biofloc, para posteriormente hacer una interrelación y determinación del análisis de costo beneficio para las dos especies y los dos sistemas teniendo en cuenta las variables biológicas, de manejo y económicas para así demostrar algunas de las ventajas y desventajas relacionadas con esta tecnología en vía de desarrollo.

JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

El crecimiento de la acuicultura en las últimas décadas ha sido evidente debido a las demandas en el mercado; esto inevitablemente ha generado problemáticas ambientales como la eutrofización, epizootias, transformación del paisaje, entre otros. Estas presiones ambientales de las grandes industrias acuícolas se han dado fundamentalmente por la sobreexplotación de las especies en el medio silvestre, como es el caso del camarón rosado del golfo de México *F. duorarum* (Gracia, 2004). Por esta razón, se han dirigido los esfuerzos a la implementación de diferentes sistemas de producción más amigables con el medio ambiente, como el sistema biofloc (BFT por sus siglas en inglés), basado en un recambio limitado de agua, con microbiota predominantemente aeróbica y heterotrófica.

Con este proyecto se espera obtener el análisis del rendimiento fisiológico tomando en cuenta las variables ambientales (salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto en el agua, amonio, nitritos y nitratos en el agua), fisiológicas (energía retenida en crecimiento, excreción amoniacal, energía digerible), zootécnicas (supervivencia, crecimiento, ración óptima) y bioeconómicas para el desarrollo de los experimentos y análisis de resultados. De esa manera que se fortalezcan los conocimientos de las dos especies a contrastar *L. vannamei* y *F. duorarum* analizando su desarrollo en el sistema de recambio limitado biofloc technology y sistema tradicional.

Los anteriores temas son de gran importancia debido a las problemáticas e impactos que se han podido evidenciar debido al crecimiento y sobreexplotación de la industria acuícola en el mundo y como alternativa potencial para el mejoramiento y rendimiento bioeconómico para los camarónicúles.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el rendimiento fisiológico de *L. vannamei* y *F. duorarum* en el sistema de producción tradicional y tecnología de biofloc (BFT)?

¿Cuál es la ración óptima teórica en el sistema de tecnología de biofloc de la especie *L. vannamei*?

¿El sistema de tecnología de biofloc da un mejor rendimiento en el análisis costo beneficio que el que se presenta en el sistema tradicional?

¿Cuál fue la especie con mejor rendimiento fisiológico y bioeconómico en el sistema de tecnología biofloc?

HIPÓTESIS

Hipótesis 1. (Fisiología)

Debido a que la tasa de crecimiento de *L. vannamei* es más elevada (1g/semana) respecto a la obtenida por *F. duorarum* (Arbeláez, 2010) se espera que el rendimiento fisiológico de *L. vannamei* fue mejor que el de *F. duorarum* tanto en el sistema tradicional como en el sistema de biofloc technology (BFT).

Hipótesis 2. (Análisis costo beneficio)

Si hay una reducción de costos en los gastos de producción relacionados con la energía de bombeo y la disminución de suministro de alimento en los camarones de ambas especies cultivadas en el sistema de biofloc tecnología (BFT), dicho sistema podrá generar un análisis de costo beneficio sustentable para las dos especies de camarón (*L. vannamei* y *F. duorarum*) con respecto al sistema tradicional

OBJETIVO GENERAL

Comparar el rendimiento fisiológico y bioeconómico entre dos especies de camarones peneidos (*L. vannamei* y *F. duorarum*) en el sistema de producción tradicional y tecnología de biofloc.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar el balance energético de *L. vannamei* y *F. duorarum* en los sistemas de producción tradicional y tecnología de biofloc.
- Contrastar las especies *L. vannamei* y *F. duorarum* en los dos sistemas, tradicional y biofloc, con dos raciones diferentes, óptima (proveniente del modelo de balance bioenergético) *Versus* las obtenidas de las Tablas de alimentación comercial
- Evaluar el crecimiento y supervivencia de las especies *Litopenaeus vannamei* y *F. duorarum* en el sistema de tecnología de biofloc
- Realizar el análisis de costo beneficio del sistema Biofloc Technology BFT con las especies *L. vannamei* y *F. duorarum*

CAPÍTULO 2

- **ÁREA DE ESTUDIO**
- **MATERIALES Y METODOS**

ÁREA DE ESTUDIO

La Unidad MuLidisciplinaria de Docencia e investigación de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México del puerto de Sisal, municipio Hunucmá se localiza en la región costera noroccidental del Estado de Yucatán a una distancia de 53 km de Mérida. Sus coordenadas geográficas son 21° 9'55.22"N 90° 1'54.93"W. Cuenta con una extensión de litoral de 27.5 km y ocupa una superficie total de 599.10 Km².



Figura 7. Área de estudio, UMDI de la FacuLa de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, Puerto de Sisal, municipio de Hunucmá, Yucatán, México.

Toda la superficie del territorio municipal es plana, considerada como llanura de barrera en su mayor extensión, debido a que en el extremo este existen playas o bardas tendidas que favorecen, en este caso, la implementación de sistemas de producción acuícola. El territorio municipal no tiene corrientes superficiales de agua. Sin embargo, en el subsuelo se forman depósitos comúnmente conocidos como cenotes. El clima de la región donde se localiza el municipio es cálido-semiseco con lluvias en verano. Tiene una temperatura media anual de 26°C y una precipitación pluvial media anual de 1,200 milímetros. Los vientos dominantes provienen en dirección noroeste y su principal ecosistema se considera como selva

baja caducifolia, con vegetación secundaria en el extremo norte; las especies más abundantes son: el alché, amapola, caoba, ceiba y chichibé. Respecto a la fauna, las especies más abundantes son pequeños mamíferos como el armadillo, ardilla, mapache, conejo y tuza. Así como diversas clases de reptiles y aves.

MATERIALES Y MÉTODOS

EXPERIMENTO 1.

Origen de los camarones y mantenimiento

Se obtuvieron individuos de *L. vannamei* de aproximadamente 1 g de la granja camaronera LA MARCA, Sisal, Yucatán. Inicialmente los organismos fueron puestos en un periodo de aclimatación, con parámetros físico-químicos controlados durante 36 horas, para disminuir el nivel de estrés causado por la captura y transporte a la UMDI, donde fueron monitoreados los parámetros físico-químicos del agua y dispuestos en los dos tratamientos (agua clara y BFT).

Los camarones (peso promedio inicial de 1 ± 0.3 g) fueron dispuestos en seis estanques circulares con capacidad de 20000 L, de esos, tres para sistemas de BFT y tres para cultivos tradicional o agua clara (recambios diarios de aproximadamente el 25% de agua). La densidad de siembra fue de 80 camarones/m³, hasta que los animales pesaron aproximadamente 8 g, luego la densidad fue rebajada a 40/m³. Los organismos se alimentaron cinco veces al día (4:00, 9:00, 16:00, 20:00 y 00:00 horas) con alimento comercial del 35% de proteína cruda (MaLa Cleyton®). Las raciones diarias fueron ofrecidas de acuerdo al consumo y biomasa promedio de los organismos cultivados.

Los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, la salinidad, oxígeno disuelto y pH relacionados con la calidad del agua, fueron monitoreados diariamente (muLiparámetros de la marca Hach®, modelo HQ40d) igualmente se midió tres veces por semana el amonio, nitrito y nitrato bajo la técnica del kit HACH. Para evaluar el crecimiento y corregir la cantidad de alimento fornecido, se realizaron biometrías a través de muestreos cada 30 días con 30 individuos capturados al azar.

Aproximadamente a los 60 días los estanques de BFT fueron fertilizados diariamente con una fuente externa de carbono orgánico que favoreció el ambiente controlado y estable para un mejor desempeño y crecimiento de los microorganismos que conforman la biota microbiana presente en el agua (Avnimelech, 2009). De acuerdo a

Emerenciano et. al. (2007) esta “fertilización es basada en la adición periódica de algunos ingredientes en el agua como fuentes de carbono, nitrógeno y sustrato para el crecimiento microbiano” teniendo en cuenta también las concentraciones de amonio en el agua (Samocha et al, 2004 & Emerenciano, 2009). Se utilizó melaza de caña de azúcar (fuente de carbono) y la dieta comercial (fuente de nitrógeno) (Emerenciano et al, 2007). Con el objetivo de mantener la concentración deseada para los organismos cultivados, se realizó un monitoreo periódico de los niveles de sólidos suspendidos en el agua por medio de la medición de conos Imhoff, (Avnimelech, 2007).



Figura 8. Medición y control de volumen del biofloc. (Foto: Nyan Taw, 2009)

Indicadores fisiológicos

Se realizó el estudio bioenergético para la especie *L. vannamei* a los 14 g en los dos sistemas tradicional y BFT para compararlo con los datos obtenidos en esta etapa de crecimiento para la especie *F. duorarum* en experimentos bajo las mismas condiciones anteriormente realizados y obtener así la ración óptima para esta especie.

La respirometría en este caso se realizó de la siguiente manera: a través de mediciones de consumo de oxígeno y excreción amoniacaal llevando a cabo tres mediciones respirométricas por medio de sistema abierto que consiste en presentar un flujo constante en las cámaras y un reservorio: una de BFT con camarón, agua clara con camarón y por último BFT sin camarón, durante ciclos de 24 horas cada respirometría (ciclo circadiano). Se utilizaron para cada una de las respirometrías 6 camarones de 13-14 g, colectados al azar en los estanques correspondientes a cada tratamiento. Cada uno se introdujo en cámaras respirométricas de 2 L y se mantuvo

una cámara control (sin organismo) para poder sustraer el efecto de las bacterias y algas presentes en el agua (Rosas *et. al.*,1996). Se tomaron alícuotas en las entradas y salidas de los flujos de agua para posteriormente realizar las mediciones de concentración de amonio.

Posterior a cada una de las mediciones los organismos fueron sacrificados y puestos en un horno para su secado (evaporación de humedad presente), luego se maceraron y se llevó a cabo la calorimetría correspondiente para cada organismo.

- **Respirometría**

Se realizaron las determinaciones de concentración de oxígeno en el agua, por medio de las diferencias entre la entrada y la salida en las cámaras a una velocidad (flujos de 10 ml/5 seg) y temperatura controlada (28°C) (Rosas *et al.*,1996)

$$VO_2 = \{([O_2]_{entrada} - [O_2]_{salida}) * Flujo\} - \{([O_2]_{entrada} - [O_2]_{salida})_{control} * Flujo_{control}\}$$

Donde VO_2 es el consumo de oxígeno expresado en mg de O_2 por hora por animal, $[O_2]_{entrada}$ es la concentración en mg por litro de O_2 en el agua que entra a la cámara respirométrica, $[O_2]_{salida}$ es la concentración en mg por litro de O_2 en el agua sale de la cámara respirométrica, F es la velocidad o flujo del agua que pasa a través de la cámara respirométrica expresada en litros por hora (Rosas *et al.*,1996).

Para realizar las mediciones fue necesario utilizar organismos aclimatados, debido al estrés por manipulación, y para evitar modificaciones en la determinación del consumo de oxígeno y excreción amoniaca a causa de lo mencionado. Por esta razón, se procuró realizar la colecta en las taras en horas nocturnas o en las mañanas (7:00 – 8:00 AM) ya que son las horas en las que la temperatura ambiente se reduce (Gabriela Gaxiola *com. Pers.*).



Figura 9. (a)Organismos en tara de aclimatación en el cuarto húmedo para continuar con la respirometria. (b) Sistema de respirometria con recirculacion de agua clara

El transporte de los camarones hasta la sala de respirometría, se basó en utilizar botellas de 250 ml que contengan hielo para disminuir la temperatura del agua y el metabolismo de los camarones (menos 3 C° de la temperatura promedio del agua de los estanques). Inmediatamente se pusieron en una tina con capacidad de 80 L, para aclimatar ver Figura (9a), durante un lapso de 12 horas y posteriormente se incorporaron en las cámaras (totalizando 24 horas de ayuno antes de empezar las mediciones) ver Figura (9b). Se iniciaron las mediciones a las 7:00 PM y se finalizaron a las 8:00 PM del siguiente día completando 24 horas de medición. En relación a la alimentación para observar el ICA, se alimentó una vez con pellet con una proporción de acuerdo al consumo de alimento comercial que tenían los organismos y según la biomasa en la primera hora (7:00 PM) del inicio del experimento .El consumo de oxígeno se midió manualmente con el oxímetro marca YSI 5000. Los flujos fueron mantenidos y se midieron con un cronómetro y una probeta de 10 ml. La temperatura se mantuvo constante en 28 °C. Todos los parámetros descritos se medirán cada hora.

- **Caltorimetría**

Al finalizar cada una de las pruebas respirométricas los organismos fueron sacrificados (a través de disminución de temperatura del agua) y secados (horno a 55°C durante 8-12 días) para los análisis caltorimétricos. Posterior a esto se maceraron cada uno de los camarones y se hicieron tres pastillas según su biomasa (3 réplicas) con igual peso, seguidamente, se obtuvo el contenido de energía del peso seco en una bomba

calorimétrica de marca Parr®, con la metodología descrita por Rosas (2003) ver Figura (10).

Con esta técnica se obtuvo el valor calórico de los camarones provenientes de la respirometría y multiplicados por la tasa diaria de crecimiento se obtuvo el valor de energía retenida en crecimiento (Joules/día).

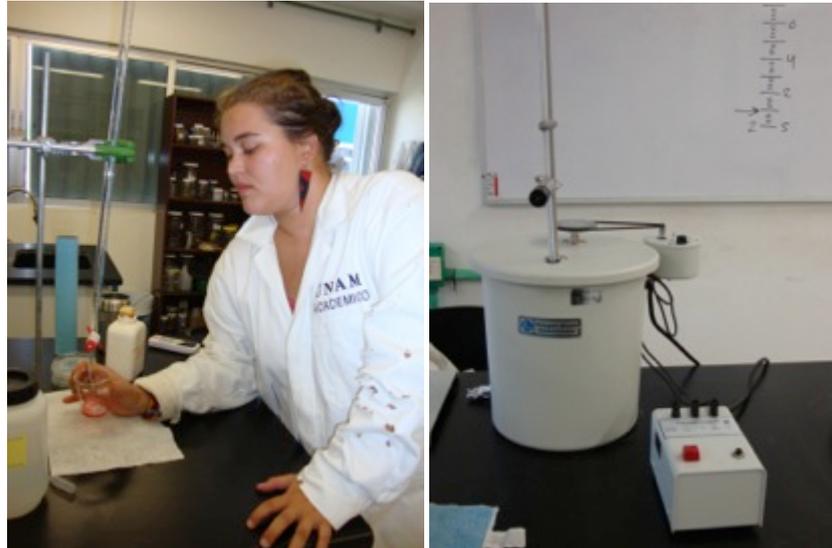


Figura 10. (a) Proceso de titulación llevado a cabo en la calorimetría; (b) bomba calorimétrica (Foto: Alejandra Arbeláez y Celio Hernandez).

A partir de estas variables, se obtuvo la información necesaria para obtener la energía bio-digerible (Maldonado, 2006). Con la siguiente fórmula:

$$EB = END + ED [ExNF(E_{EXC-AY} + E_{ENPA}) + ER (E_{RUT} + E_{ICA}) + EN + E_{EXV}]$$

donde:

EB= Energía Bruta

END= Energía no Digerible

ED= Energía Digerible

ExNF= Energía pérdida por Excreciones no Fecales

E_{EXC-AY}= Energía Pérdida por Excreción Amoniacal del Ayuno

E_{ENPA}= Energía Perdida por Excreción Amoniacal Pos-alimenticia

ER= Energía Perdida por Respiración

E_{RUT}= Energía Perdida por Metabolismo de Rutina

E_{ICA}= Energía Perdida por Incremento Calórico Aparente

EN= Energía Neta

E_{EXV}= Energía Perdida por Exuvia

RE= energía retenido

ANÁLISIS DE DATOS

Análisis multivariado – Series de tiempo

El análisis de las funciones empíricas ortogonales (FEOs) es utilizado para identificar los patrones estadísticos de variación simultánea de los campos observados (Von Storch & Zwiers, 2001). Es un método utilizado con frecuencia en ciencias de la tierra para el análisis de una variable a través del tiempo (com. personal Gutierrez, 2013). Esta técnica nos permite el análisis simultáneo de las series de tiempo. Se obtuvieron series de tiempo de consumo de oxígeno de los camarones que fueron analizadas mediante el análisis de las funciones empíricas ortogonales (FEOs). Para encontrar posibles patrones de variación conjunta en el consumo de oxígeno de los camarones, las series de tiempo que se obtuvieron fueron analizadas por medio del análisis en Funciones Empíricas Ortogonales (FEOs). En este trabajo dicho análisis se realizó usando la tecnología matemática en descomposición en valores singulares (SVD, por sus siglas en Ingles), la cual sirve para encontrar las bases del espacio vectorial de columnas y de renglones de una matriz dada. El análisis en FEOs, nos permitió identificar los patrones estadísticos de variación simultánea de los campos observados (Von Storch, Zwiers, 2001, Gómez-Valdés, Jerónimo, 2009), es decir, se logró determinar los patrones fundamentales de variación temporal del consumo de oxígeno en los experimentos de respirometría que se realizón. Una ventaja de esta metodología es que, no sólo se obtienen los patrones de variación conjunta, sino que además el análisis en EOFs maximiza la varianza del conjunto de series de tiempo, es decir permite capturar los modos de variación más energéticos. La descomposición SVD permite conocer los valores propios (eigen valores), de las bases de cada espacio vectorial, con lo cual se tiene información de qué porcentaje de la energía total corresponde a cada modo de variación.

Siguiendo el método de Jerónimo (2007), a cada serie de tiempo de consumo de oxígeno (por cámara), se le extrajo el campo medio (promedio en el tiempo), con lo que se obtuvieron las anomalías \bar{x}_i' de cada serie asociada a cada medición de cada cámara según la ecuación:

$$\bar{x}_i' = \bar{x}_i - \hat{\mu}_i,$$

(1)

en donde $\widehat{\mu}_i$ es el promedio de la i -ésima serie.

Se escribieron las anomalías \bar{x}_i' como combinación lineal de k vectores linealmente independientes (\bar{e}_j) , $\bar{x}_i' = \sum_{j=1}^k \alpha_j \bar{e}_j$. Los vectores \bar{e}_j se elegirán ortogonales, tales que minimicen el error cuadrático medio al hacer la aproximación, es decir se debe minimizar la expresión

$$r^2 = \sum_t \left(\bar{x}_i' - \sum_{j=1}^k \alpha_j \bar{e}_j \right)^2.$$

(2)

Noten que en este caso, minimizar el error cuadrático medio, es equivalente a maximizar la varianza, lo que a su vez es equivalente a maximizar las variaciones conjuntas.

Los vectores \bar{e}_j son los llamados FEOs y los coeficientes α_j son las llamadas Componentes Principales de variación temporal (CPA o PCA por sus siglas en inglés).

Para construir las funciones empíricas ortogonales (vectores \bar{e}_j), se aplicó el método de Gram-Schmidt (Hoffman & Kunze, 1971), método ampliamente utilizado para construir vectores ortogonales, y la varianza se maximizó usando multiplicadores de Lagrange según lo propone Jerónimo (2007).

Posterior a este análisis, a cada serie de tiempo de consumo de oxígeno, se le calculó una integral numérica usando la regla del trapecio, cada integral corresponde al consumo total de oxígeno de los individuos en cada una de las mediciones (corridas respirométricas) a continuación a cada una de las series integradas se les calculó las anomalías, y posteriormente para obtener los patrones de variabilidad conjunta, se llevó a cabo un análisis en FEOs.

Para obtener la estimación de la energía destinada a la respiración total en Joules por animal, en donde cada animal fue sometido a diversas condiciones experimentales, se implementó el método de integración numérica denominado regla de Simpson (Stoer y Bulirsch, 1980). Una vez obtenidas las series de tiempo de la energía destinada a la respiración de cada individuo (integral del consumo de oxígeno), se implementó el análisis de series de tiempo antes explicado (Jerónimo, 2007).

Para cada uno de los cálculos numéricos, se usó como plataforma de cómputo el programa MATLAB. Obteniendo los siguientes resultados para cada uno de los tratamientos, vale la pena mencionar que solo se ejemplificaran todas las gráficas valores, y pasos a seguir de este método con el siguiente tratamiento.

En la siguiente Figura 11 se muestran las gráficas obtenidas a través del análisis de datos realizados en el Matlab, en la gráfica (a) podemos observar el comportamiento del consumo de oxígeno en mg/L de los 9 o 7 individuos dependiendo de la especie que se encontraban en las cámaras para cada uno de los tratamientos con un rango de consumo generalmente entre 0.1- 7.0 mg/L. En la gráfica (b) están las nueve gráficas con las anomalías de cada una de las cámaras con un rango dependiendo del tratamiento y especie. La evolución temporal de las anomalías nos permiten observar las variaciones que representan cambios significativos que no se incluyen dentro del promedio de variación (armónicos ritmos de cambio). En la gráfica (c) se muestra la componente de oscilación temporal conjunta (CPA) que captura el valor de porcentaje de la varianza total. La varianza total es la energía total contenida en los cambios del consumo de oxígeno (las anomalías del consumo de oxígeno) con tendencias negativa o positiva dependiendo del tratamiento (la curva roja representa la tendencia).

En la gráfica (d) tenemos el patrón de la CPA donde se concentran. La segunda concentración de la energía con determinado porcentaje dependiendo del tratamiento, que genera el/los agentes forzantes implicados en los cambios mostrándonos el estado del sistema relacionado con la variabilidad temporal. También se pueden observar tendencias que representan estos comportamientos de variabilidad en cada uno de los sistemas. En la gráfica (e) se muestran las series de tiempo de la integral de consumo de oxígeno de cada individuo, la curva en color rojo está asociada a la cámara control. En la gráfica (f) se muestran las anomalías de las integrales mencionadas y la gráfica de la Función empírica ortogonal (fFEO's) del sistema obteniendo como resultado del consumo de energía en joule/día por cámara para obtener el costo energético en respiración de los organismos.

Por razones prácticas solo se mostraran en los resultados las gráficas finales de las FEO's para cada uno de los tratamientos.

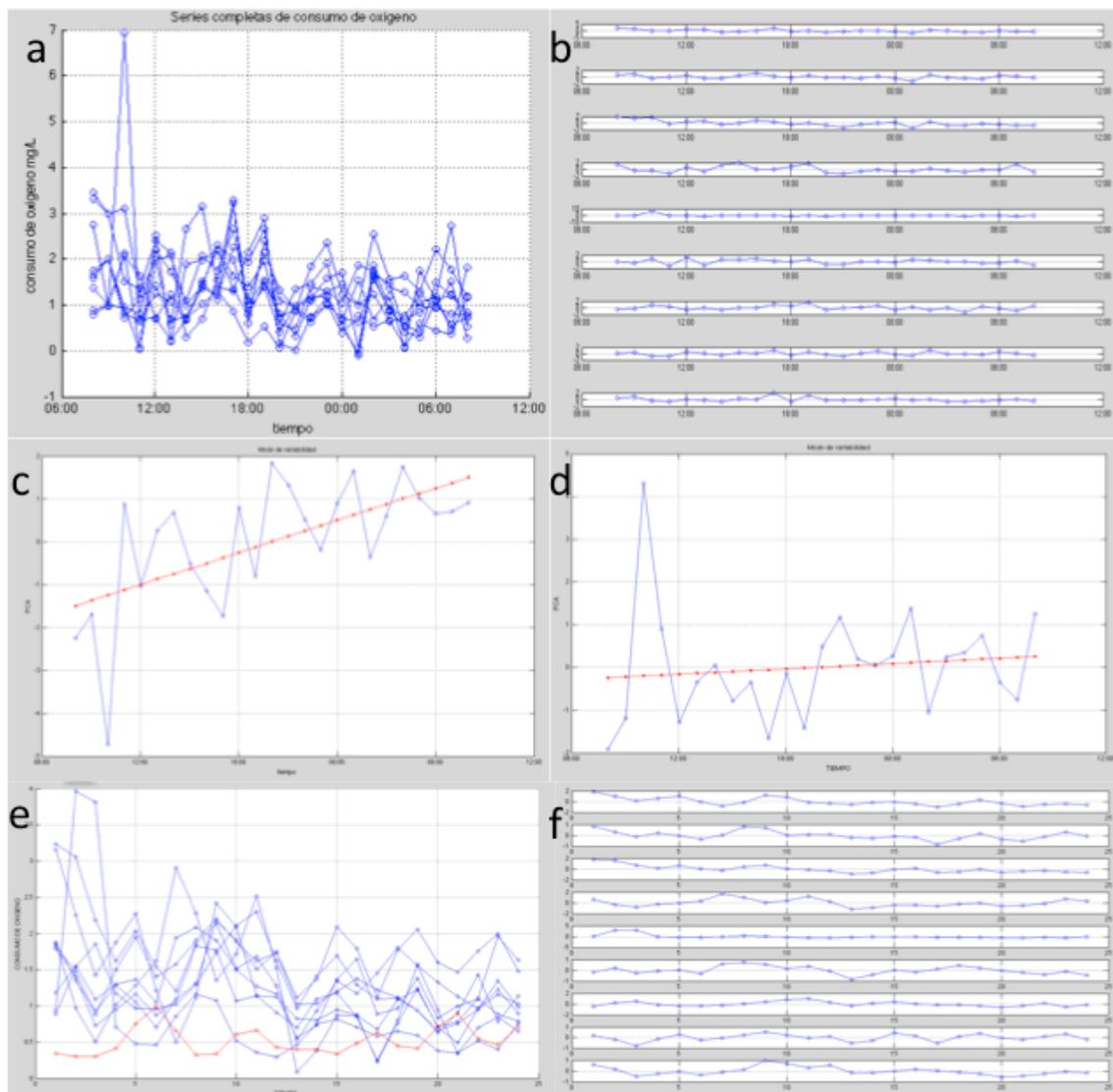


Figura 11. a) Consumo de oxígeno (mg/L) del ciclo circadiano; b) Anomalías de cada una de las cámaras; c) Componente más energético de oscilación temporal conjunta (CPA); d) Patrón del segundo modelo de oscilación de la CPA; e) Series de tiempos de la integral del consumo de oxígeno; f) anomalías de las integrales de izquierda a derecha.

Una vez obtenidas las integrales del consumo de oxígeno se estructuraron los modelos de balance energético de los dos tratamientos (agua clara y BFT). Para determinar las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de t de student para los parámetros del balance bioenergético de la fase experimental I y para la dos ANOVAS bifactoriales, así como para las eficiencias obtenidas en relación con la energía digerible. Asimismo se aplicaron estas mismas pruebas para evaluar las diferencias en la supervivencia. Cabe señalar que todos los valores expresados en porcentaje fuer transformados a arcoseno, previo al análisis estadístico.

Para el crecimiento se aplicará en análisis de varianza por bloques anidado para obtener las diferencias significativas entre los tratamientos, y la prueba de rangos múltiples de Tuckey para ponderar dichas diferencias. En todos los casos se usó un nivel de probabilidad del 0.05 (Zar, 1996).

EXPERIMENTO 2

Con el objetivo de evaluar y comparar el efecto del sistema biofloc y las raciones óptimas *VERSUS* las tradicionales en aspectos zootécnico, calidad de agua y bioenergéticos, se realizaron los experimentos, con juveniles de la especie *L. vannamei* y *F. duorarum* en los meses de septiembre hasta noviembre del 2011.

Origen de los camarones y mantenimiento

Se obtuvieron postlarvas de *L. vannamei* de la granja camaronera LA MARCA, Sisal, Yucatán. Inicialmente los organismos fueron dispuestos en aclimatación, para disminuir el nivel de estrés causado por la captura y transporte a la UMDI, donde fueron monitoreados los parámetros físico-químicos del agua y dispuestos en los dos tratamientos (agua clara y BFT). Las postlarvas de *F. duorarum* se obtuvieron de una captura realizada el 16 de agosto del 2011 en la Ría de Celestún (ver Figura 12).



Figura 12. Fondeos de captura de camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, Celestún, Yucatán.

Los parámetros físico-químicos como temperatura, salinidad, pH y concentración de oxígeno disuelto en el agua fueron medidos diariamente y los parámetros de calidad de agua como amonio, nitritos y nitratos se evaluaron semanalmente con los mismos métodos mencionados en el experimento anterior.



Figura 13. Ejemplar de *Farfantepenaeus duorarum*.

El punto fundamental fue comparar dos sistemas: BFT (recambio de agua cero en un sistema de recirculación “mesocosmos-microcosmos”, Emerenciano et al. (2010)) y sistemas de aguas-claras (sistema abierto con recambio continuo de agua),

conjuntamente con una ración óptima (FCA 1.34) para cada una de las especies y una ración tradicional que obtenida de las Tablas nutricionales de los alimentos comerciales como MaLa Cleyton (FCA 2.03) para cada una de las especies.

Se utilizaron juveniles de *F. duorarum* y *L. vannamei* con peso inicial promedio de 2 g y 9 g respectivamente y fueron distribuidos aleatoriamente en 40 taras plásticas (40L) en un diseño experimental factorial (2x2x2). La densidad de siembra fue de 7 juveniles/caja en un equivalente de 7 camarones/m². Durante 8 semanas los animales fueron alimentados 3 veces al día, en una proporción equivalente de 3% de la biomasa presente en cada caja con la ración tradicional de alimento comercial 35 % proteína cruda (MaLa Cleyton®) y la ración óptima 1.77% obtenida para los dos sistemas de alimento comercial. Repartiéndose como se muestra en la siguiente Tabla (1) (de cada una de las unidades experimentales se harán cinco replicas):

Tabla 1. Unidades experimentales, sistema, raciones y tratamiento para el experimento 2.

| Unidades experimentales | ESPECIE | SISTEMA | RACIÓN | TRATAMIENTO |
|--------------------------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------|
| 1 | <i>L. vannamei</i> | Floc | óptima | VBO |
| 2 | <i>L. vannamei</i> | Floc | tradicional | VBT |
| 3 | <i>L. vannamei</i> | Agua clara | óptima | VAO |
| 4 | <i>L. vannamei</i> | Agua clara | tradicional | VAT |
| 5 | <i>F. duorarum</i> | Floc | óptima | DBO |
| 6 | <i>F. duorarum</i> | Floc | tradicional | DBT |
| 7 | <i>F. duorarum</i> | Agua clara | óptima | DAO |
| 8 | <i>F. duorarum</i> | Agua clara | tradicional | DAT |

Para el tratamiento BFT, fue utilizado un sistema “mesocosmo-microcosmo” (Emerenciano et al, 2010). Para el mantenimiento de la comunidad microbiana y tratamiento del BFT, la fuente de carbono, la relación C:N, el manejo del volumen de

floc , los recambios de agua y control de salinidad fueron seguidos por la metodología de Avnimelech (1999), Emerenciano et al. (2006b) Emerenciano et al. (2007)

Parámetros fisicoquímicos

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de amonio nitrito y nitrato se implemento colorimétricamente mediante el método modificado de azul de indofenol (Strickland & Pearson el al, 1992). Esta técnica está basada en el principio en el cual se deben adicionar 110 μL de cada una de las muestras en pozos de microplacas realizando tres réplicas de cada una, que se tratarán con un medio alcalino de citrato con hipoclorito de sodio del cual se adicionan 12 μL y 4 μL de fenol en la presencia de 4 μL de nitroprusiato de sodio que actúa como catalizador en cada pozo. Las microplacas se incubarán durante una hora a temperatura ambiente y en oscuridad, posterior a eso se leera la absorbancia a 640 y 630 nm con un espectrofotómetro (ver Figura 14).



Figura 14. Material utilizado para el análisis de Amonio, Nitritos y Nitratos.

En la siguiente Figura (15) podemos observar el iglú donde se llevó a cabo la fase experimental II.



Figura 15. Iglú donde se llevaron a cabo experimentos II de la FASE II.

En la Figura 16 podemos observar la disposición y ensamblaje de cada uno de los sistemas con sus respectivas taras dentro del ambiente experimental controlado. Su instalación se llevó a cabo durante los meses de julio-agosto del 2012.



Figura 16. Instalaciones de dispositivo experimental. a) Sistema de Agua Clara, b) Sistema de BFT.

En la Figura 17 podemos observar el mesocosmos que se utilizó para completar el sistema de BFT y tener un sistema de recambio limitado de agua y recirculación. Este

con su respectivo sedimentador, con el objetivo de evitar la concentración de las partículas en suspensión en el agua de tamaños grandes dentro del sistema BFT.



Figura 17. Mesocosmos y sedimentador utilizados en el sistema BFT.

En la Figura 18 podemos observar el esquema de la distribución y organización de las taras en el dispositivo experimental.

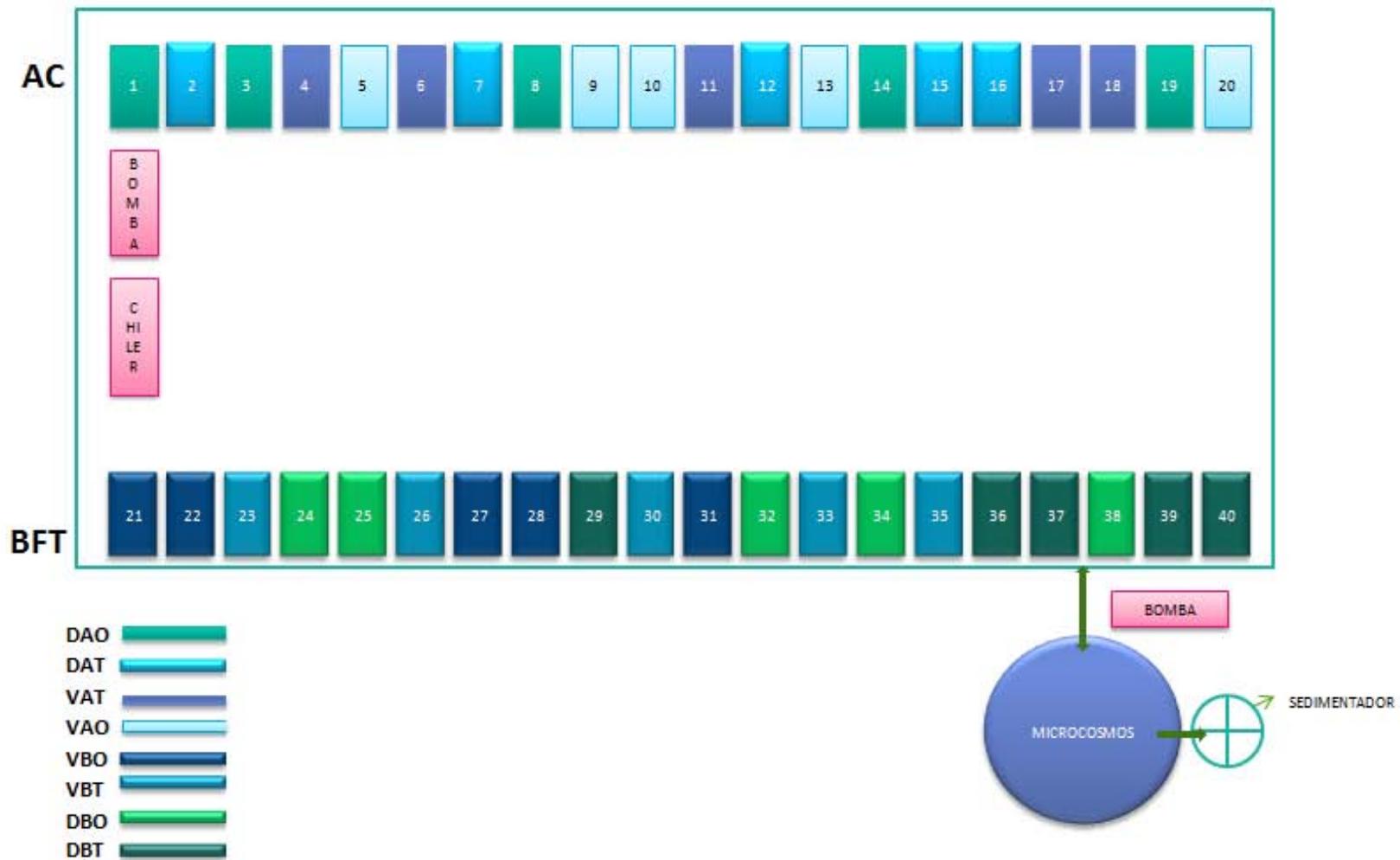


Figura 18. Distribución de taras y organización del dispositivo experimental.

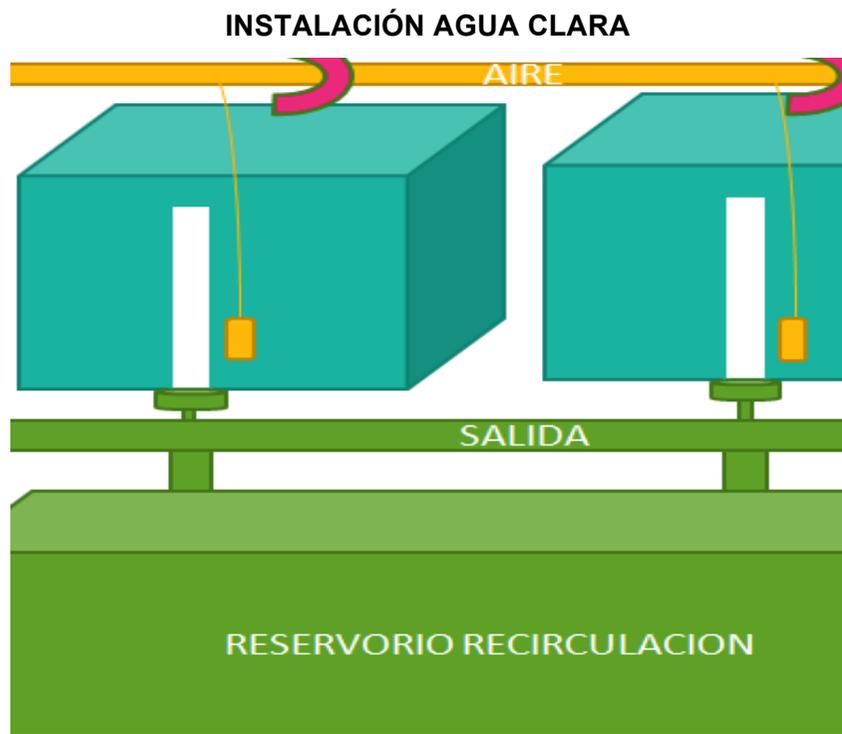


Figura 19. Ensamble de las taras en el sistema Agua Clara.

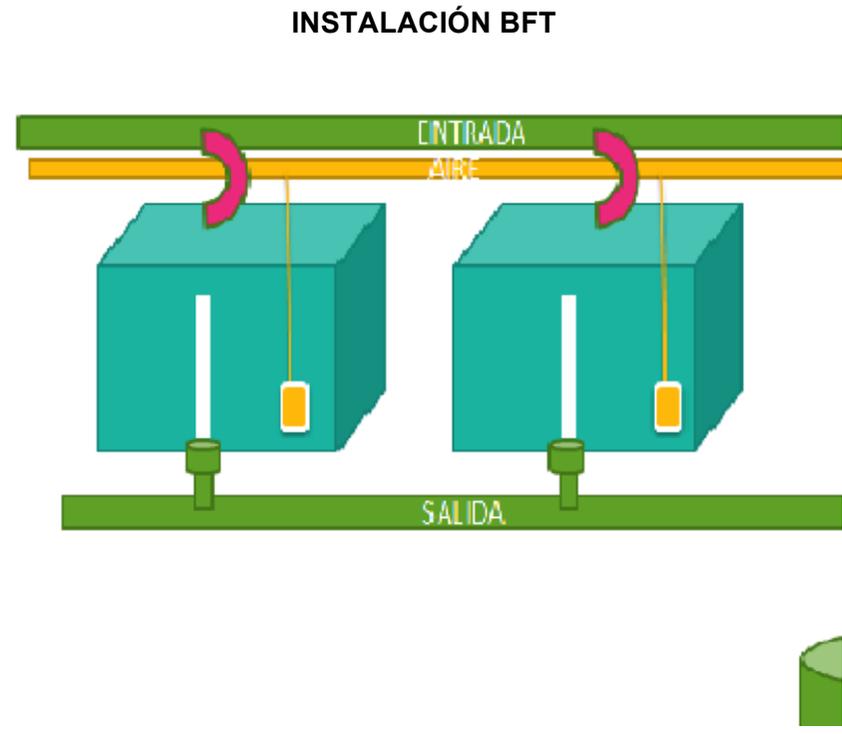


Figura 20. Ensamble de las taras en el sistema BFT.

En las Figuras 19 y 20 podemos observar el esquema de ensamblaje para cada uno de los sistemas (agua clara y BFT), en cuanto a las características de circulación y estructura para cada uno de ellos.

Indicadores fisiológicos

Posterior a esto se realizó la bioenergética de los individuos experimentales donde se hizo el contraste entre los dos sistemas (Biofloc y cultivo tradicional), las dos raciones (óptima y tradicional) y las dos especies (especies *L. vannamei* y *F. duorarum*). En cuanto a la respirometría para los camarones de las dos especies, dos tratamientos y dos raciones se hicieron 8 respirometrías (ver Figura 21), debido al número de unidades experimentales. La cual consiste en incorporar 9 individuos colectados aleatoriamente de cada unidad experimental en cámaras respirométricas de 1 L. De igual forma, durante este proceso se tomaron alícuotas de las entradas y salidas de los flujos del sistema de la respirometría para realizar las mediciones inmediatas de la concentración de oxígeno disuélta en el agua. Por último, se sacrificaron los organismos de las 8 respirometrías y se secaron en un horno a 60°C por 48 horas, para luego realizar la calorimetría. Los fundamentos de estos procesos mencionados (respirometría y calorimetría) se expusieron y explicaron detalladamente en apartados anteriores.



Figura 21. - Sistema de respirometría para BFT

Los procesos anteriormente mencionados se explicaron detalladamente en el anterior experimento debido a que su principio es el mismo para los dos experimentos realizados.

ANÁLISIS DE DATOS

Análisis bifactorial

Se realizó un análisis bifactorial para determinar como se presentaron los comportamientos de las variables zootécnicas (biomasa, ganancia de peso, supervivencia y FCA) y las variables bioenergéticas de los cuatro tratamientos presentados para cada uno de las especies. Realizando contraste entre ración y sistema de cultivo determinando su homogeneidad de varianza y normalidad, a través de la plataforma de trabajo STATISTICA.

Análisis multivariado

Se realizó el mismo procedimiento de análisis de series de tiempo explicado en el primer experimento para los 4 tratamientos de este experimento y una vez obtenidas las integrales del consumo de oxígeno se estructuraron los modelos de balance energético de los 4 tratamientos (agua clara y BFT). Para determinar las diferencias entre los tratamientos se utilizó el ANOVA bifactorial anteriormente mencionado, al

igual que para las eficiencias obtenidas en relación con la energía digerible. Así mismo se aplicaron estas pruebas para evaluar las diferencias en la supervivencia. Cabe señalar que todos los valores expresados en porcentaje fueron transformados a arcoseno, previo al análisis estadístico.

En todos los casos se usó un nivel de probabilidad del 0.05 (Zar, 1996).

Análisis costo beneficio

Los sistemas alternativos de producción acuícola que se propusieron deben ser evaluados a nivel biológico y para corroborar su éxito o fracaso es necesario también tener en cuenta las posibilidades tecnológicas, factores sociales y económicos. por esta razón en este caso se buscó exponer un análisis de viabilidad económica a través del análisis de costo beneficio para el sistema de Biofloc Technology vs. el sistema tradicional en las condiciones específicas de los experimentos llevados a cabo durante el proyecto.

El análisis bioeconómico usa modelos matemáticos para relacionar la producción de sistemas y desempeño biológico con factores económicos y técnicos (Bjørndal et al., 2004). El potencial de este tipo de análisis se enfoca principalmente en brindar una predicción, modelación o representación de una actividad dinámica de una manera simple, para determinar si existe algún tipo de riesgo antes de tomar decisiones y realizar acciones, todo esto por medio de una abstracción real de datos (Ponce et,al, 2005) En este caso para realizar el análisis costo-beneficio del sistema de producción biofloc technology (BFT) se siguió la metodología expuesta por Poot (2010), dividiéndolo en tres sub-modelos: sub-modelo biológico, sub-modelo de manejo y sub-modelo económico.

Sub-modelo Biológico

Para describir el crecimiento de los camarones *L. vannamei* en cada tratamiento se utilizó la ecuación de Von Bertalanfy:

$$W_{(t)} = W^{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^3$$

donde $W_{(t)}$ es el peso promedio de los organismos, W^{∞} es el peso asintótico de los organismos, k es el parámetro de crecimiento, t_0 es un valor teórico que representa el momento en el cual los camarones tienen un peso 0.

La parametrización de los modelos se realizó con el optimizador Solver contenido en el software Excel.

Para el crecimiento de la especie *Farfantepenaeus duorarum* se utilizó la ecuación de Gompertz (Jørgensen, 1994):

$$W_{(t)} = W_0 e^{w_0(1-e^{-i\omega t})}$$

donde $W_{(t)}$ es el peso promedio de los organismos, W_0 es la velocidad del crecimiento instantáneo el cual representa un peso teórico que corresponde a la etapa de edad cero (Monteiro, 1989). Para estimar los parámetros de esta ecuación se procede de la misma forma que con el modelo de Von Bertalanffy (Lubet, 1994 en Gamito 1998).

Validación del modelo de crecimiento

Fueron realizadas una serie de pruebas de predicción de patrones para corroborar que los valores observados y simulados de crecimiento fueran afines (Barlas, 1989; Poot *et al.*, 2009) siguiendo el método de Poot 2008 Estas fueron:

El error cuadrático medio (ECM), que permite estimar la prueba estadística de *Theil*:

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (S_t - A_t)^2}$$

Para probar la veracidad del ajuste del modelo se utilizara el estadístico U de *Theil*, el cual es un análisis no paramétrico, que mide las discrepancias o diferencias entre los datos observados y simulados. Este ultimo a través de la siguiente ecuación:

$$U = ECM / \left(\sqrt{\sum_{t=1}^n S_t^2} + \sqrt{\sum_{t=1}^n A_t^2} \right)$$

el estadístico de Theil está relacionado con los tres siguientes estimadores, los cuales evalúan la proporción del error cuadrático medio debido a diferencias de la media (U^M), la varianza (U^S) y la covarianza U^C entre los datos reales y simulados y que en su conjunto suman (1).

Componente de sesgo del ECM (U^M):

$$U^M = (\bar{S} - \bar{A})^2 / ECM$$

componente de variación del ECM (U^S):

$$U^S = (S_s - S_A)^2 / ECM$$

componente de covariación del ECM (U^C):

$$U^C = 2((1 - R)S_s S_A) / ECM$$

posterior al ajuste de los modelo se realizaron simulacines de peso en el tiempo (crecimiento), para cada una de las especies (*L. vannamei* y *F. duorarum*) y ambos sistemas (BFT y AC). Sub-modelo Técnico-Manejo

El modelo de sub-manejo se limitó a la engorda de una sola cohorte de individuos en un solo tanque de cultivo.

. Para el control de cultivose incluyeron algunas variables prioritarias, como densidad de siembra, mortalidad, ración de alimento, entre otras. Éstas afectan de manera significativa el resultado económico en ganancias o pérdidas de la producción del camarón.

Siguiendo el método de Ponce et al, (2005) se consideró las dimensiones del tanque con capacidad de 20000 litros, 1 m de altura, 8 m de diámetro. los recambios de agua en el tratamiento de agua clara eran constantes aproximadamente de 20% diario y para el tratamiento de biofloc technology se realizaron recambios del 10% cada 3 días.

El régimen de alimentación se consideró con alimento comercial Malta Cleyton con un contenido proteico del 45%, y con la tasa de alimentación del 3 % de la biomasa para las dos especies (*L. vannamei* y *F. duorarum*).

La biomasa de los dos sistemas ($B_{(t)}$) fue calculada por medio de la simulación del cultivo, a través del peso individual de los camarones por el número de estos en el tiempo,

$$B_{(t)} = W_{(t)} \cdot N_{(t)}$$

donde $N_{(t)}$ es el número de camarones en el tiempo t, comenzando de $N_{(0)} = N_0$ el número de camarones inicialmente sembrados.

El número de camarones en el tiempo $N(t)$ se obtuvo de la siguiente forma,

$$N(t) = N(0) \cdot e^{(m \cdot t_c)}$$

donde $N(0)$ es el número inicial de camarones sembrados m la tasa de mortalidad y t_c tiempo de engorda de los organismo.

El consumo en el tiempo t ($I(t)$), de alimento balanceado y biofloc fue calculado basándose en el factor de conversión alimenticia (FCA), la biomasa ($B(t)$), y los cambios esperados en el peso individual de los organismos,

$$I(t) = FCA [B(t) + N(t)(W(t) - W(0))]$$

Sub-modelo económico

En la acuicultura, generalmente el análisis económico generalmente es descuidado por lo acuícuLores. Este tipo de análisis es muy importante para evaluar la viabilidad de la inversión en nuevas tecnologías o inversiones que se hagan en el sector acuícola, esto para lograr determinar la eficiencia de asignación de los recursos y prácticas de gestión y manejo (Aramburu, 2011; Shang, 1990).

El manejo de los sistemas de producción acuícolas depende de la simplicidad y elasticidad de la administración, tanto técnica como económica, incorporando estos diferentes puntos de vista dentro del desempeño de las granjas. Los rubros de mayor impacto en el gasto de una granja son: el alimento, personal, electricidad, gastos de mantenimiento y operación, y por último los gastos de inversión (Aramburu, 2011).

En algunas ocasiones no se tiene una sincronía entre los puntos financieros y técnicos, obteniéndose como resultado decisiones poco acertadas o con implicaciones económicas, es decir, costos (en dinero o tiempo). Por esta importante razón la simulación matemática parametrizada a partir de observaciones de los sistemas de cultivos permitió observar el comportamiento y desarrollo de los sistemas de una manera rápida y económica, evitando o previniendo el riesgo de tomar decisiones no beneficiosas para la producción acuícola en este caso de camarón. El punto fundamental es la construcción de un simulador (experimental), que nos represente de manera simplificada la realidad, permitiéndonos observar las relaciones causa efecto y con ello poder realizar predicciones.

Este submodelo está basado en las variables que presentan mayor relevancia sobre los resultados económicos. El costo de las postlarvas es diferente para las especies, debido a que *F. duorarum* fue capturado en medio silvestre, incorporando dentro de los costos, gastos de barco mano de obra entre otros y para el caso de *L. vannamei* se compraron las postlarvas para este caso el costo fue calculado según el número de crías que se sembraron por el costo de cada una de las crías. Los costos variables ($VC_{(t)}$), fueron calculados desde la siembra hasta la cosecha está compuesto de las siguientes variables:

$$VC_{(t)} = \sum_{t=0}^t [(C_e(t) + C_{bf}(t) + C_m + (C_p \cdot N_0)]$$

Donde, con $(C_e(t))$ es el costo de la electricidad en el tiempo, y (C_e) es el costo de electricidad por día, $(C_{bf}(t))$ es el costo de alimento balanceado en el tiempo t, y (C_{bf}) es el costo de alimento balanceado por kilogramo, $(C_m(t))$ es el costo de la melaza en el tiempo, y (C_m) costo de la melaza por kilogramo y (C_p) es el costo de las postlarvas.

Las ganancias generadas en los diferentes tratamientos fueron calculadas usando una ecuación simple (Poot et al. 2009; Uddin et al. 2007) :

$$P = TI - (FC + VC)$$

donde (P) son las ganancias, (TI) es el total de ingresos de la venta del camarón, (FC) son los costos fijos, (VC) son los costos variables. Los costos fijos incluirán depreciación del equipo e intereses sobre la inversión, este ultimo considerando la tasa interbancaria de equilibrio (TIIE).

El precio total del camarón por kilogramo P/kg fue calculado como:

$$P/kg = Rp \left(\frac{W_t}{1000} \right) + Rp$$

los ingresos por venta TI se calcularon

$$TI = B_{(t)} \cdot P/kg$$

y por último los ingresos netos se calcularon de la siguiente manera:

$$IN = TI - VC_{(t)}$$

En la siguiente Figura (22) podemos observar esquematizado el modelo bioeconómico con sus sub-modelos y variables respectivas:

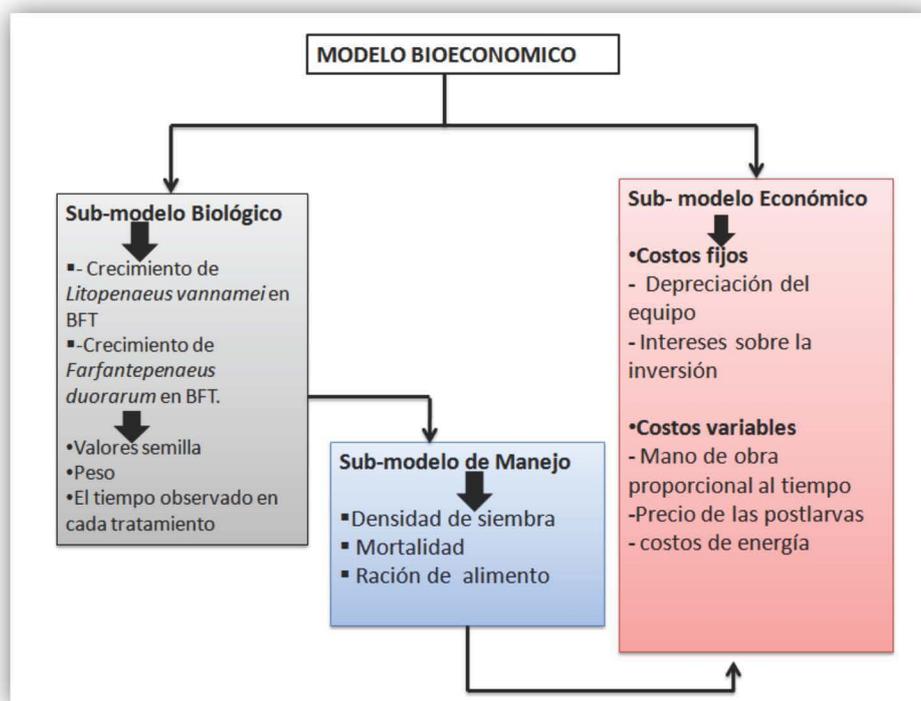


Figura 22. Modelo bioeconómico.

Por razones de tiempo y disponibilidad de información y datos no se incluyeron dentro de los análisis de datos los costos fijos que influyeron en el proceso

Cabe resaltar que se realizó un análisis costo beneficio y se tuvieron en cuenta diferentes variables de producción y eficiencia de los sistemas de producción a través de las siguientes variables y parámetros

Análisis de costo- beneficio

Para poder determinar la energía consumida por la bomba que se utilizó se realizó un prorrateo. La bomba tenía 1 caballo de potencia, el cual trabajaba en un 75%, el cual se distribuía entre los 6 estanques en los cuales se dispusieron los dos sistemas entonces,

$$E = \frac{Pw / \% w}{ne}$$

donde E , es energía consumida, Pw es el potencia de trabajo, $\%w$ es el porcentaje de trabajo de la bomba y ne el número de estanques de experimentación. La operación diaria de la bomba era de 75 minutos.

El precio de kg de alimento MaLa Cleyton se obtuvo con el precio total del buLo de 20 kg de la siguiente forma:

$$pA = \frac{pt}{nk}$$

donde pA , es el precio del alimento por kilogramo, pt es el precio total por buLo de 20 Kg (\$353) de alimento y nk es el número total de kilos por buLo.

Tabla 2. Descripción de los parámetros económicos utilizados en la evaluación bioeconómica.

| Parámetro | Concepto | Unidad | Valor (pesos) | Fuente |
|------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
| C_E | Costo de energía | Kw/hr | 0.70 | Mercado local (CFE) |
| C_A | Costo alimento | $\$/Kg$ | 17.65 | Mercado local |
| C_s | Costo de semilla | $\$/1000$ | 120 | Mercado local |
| C_m | Costo de melaza | $\$/Kg$ | 4.5 | Mercado local |
| P_c | Precio de venta camarón | $\$/Kg$ | 100 | Mercado local |

Para ajustar a los costos totales de experimentación se obtuvieron los siguientes valores a partir de los costos y datos de la Tabla (2),

el costo total de alimento C_{TA} se calculó de la siguiente forma,

$$C_{TA} = QA \cdot C_A$$

donde QA es la cantidad de alimento administrada durante el experimento y C_A el costo por kilogramo de alimento

el consumo de energía total acumulada en aireación C_{TE} durante el experimento se calculó a través de la siguiente ecuación,

$$C_{TE} = \frac{E \cdot 24 \cdot t_c}{1000}$$

donde E es energía consumida 24 son las horas por día t_c son los días de engorda.

El costo total de las semillas C_{TS} utilizadas fue calculado de la siguiente forma,

$$C_{TS} = \left(\frac{C_s}{1000} \right) \cdot N(t)$$

donde C_s es el costo de semilla y $N(t)$ es el número de organismos sembrados.

El volumen (m^3) total de agua que se bombeo V_r se calculó con la siguiente ecuación,

$$V_r = \frac{r}{t_c}$$

donde r es el recambio diario de agua y t_c número de días de engorda.

La energía total de bombeo E_{TB} se calculó de la siguiente forma

$$E_{TB} = \frac{\left((P \cdot P_w \cdot O_d) / 60 \right)}{1000} \cdot dia$$

donde P es potencia total de la bomba, P_w es la potencia de trabajo real de la bomba O_d es la operación diaria en minutos de la bomba esto se da en Kw/hr.

Para determinar el total de energía consumida E_T durante el experimento se realizó el siguiente cálculo,

$$E_T = C_{TE} + E_{TB}$$

el costo de energía total se obtuvo de la siguiente forma

$$E_{CT} = E_T \cdot C_E$$

Cabe resaltar que los costos operativos que se tuvieron en el proceso de desarrollo de los dispositivos experimentales fueron unificados con experimentos y estanques que forman parte de las instalaciones del centro de investigación, por ende, los costos de

producción pueden elevarse de cierta manera debido al uso de los equipos en otras áreas de algunos componentes, como por ejemplo, el consumo de energía y aireación.

Para obtener los valores del “modelo bioeconómico” se realizó un análisis estocástico.

Y por último se realizó el análisis donde pudimos hallar valores de productividad por hectárea, beneficio neto, costo beneficio entre otros a los cuales nos referimos posteriormente.

Análisis económico

Basados en los costos e ingresos de los datos colectados, se calculó la proporción de análisis costos beneficio, beneficio neto y valores de productividad y consumo por hectárea, para cada uno de los sistemas y especies, para así determinar la viabilidad de los cultivos bajo las condiciones.

Productividad o valor de producción

- Productividad (o valor de producción) de tierra P_t se calculó así

$$P_t = \frac{pca}{at}$$

donde pca es producción total de camarón en Kg y at el total de área de producción en hectáreas (kg/ha)

- Productividad de alimento P_A se hayó de la siguiente manera

$$P_A = \frac{pca}{T_A}$$

donde pca es producción total de camarón en Kg y T_A el total de alimento incorporado en los sistemas en Kg.

- Productividad del fertilizante se calculó con la siguiente ecuación

$$P_A = \frac{pca}{T_f}$$

donde pca es producción total de camarón en Kg y T_f el total de fertilizante incorporado en el sistema en Kg.

La productividad de estas entradas también puede ser medida en términos de valores, es decir, el valor total de la producción de camarón dividido en total de unidades de cada uno de los mayores insumos.

Estos indicadores algunas veces son utilizados para medir el desempeño de la producción de las granjas o sistemas de producción a estudiar. Sin embargo, usualmente nos indican la relación entre una entrada y una salida sin considerar la calidad de la mayor entrada o la cantidad de las otras entradas.

Cantidad por unidad de entrada o salida o Costos

-Alimento requerido por unidad de camarón producido = unidad de alimento dividido/Kg;

$$A_{uc} = \frac{T_A}{uc}$$

donde T_A son el total de unidades de alimento incorporado dividido en uc que corresponde al total de unidades de camarón producido.

- Fertilizante requerido por unidad de camarón producido F_{uc} se calculó de la siguiente manera

$$F_{uc} = \frac{T_F}{uc}$$

donde T_F es el total de unidades de fertilizante incorporado dividido el total de unidades de camarón producido uc en Kg.

- El capital requerido por unidad de camarón producido C_{uc} se obtuvo con la siguiente ecuación

$$C_{uc} = \frac{C_{op}}{uc}$$

donde C_{op} son los costos totales de operación y uc el total de unidades de camarón producido. (solo para *L. vannamei*)

Estos indicadores también pueden ser expresados en términos de valores como costos de mano de obra, alimento y capital, respectivamente, por unidad de camarón producida, esto es el costo total de cada entrada dividida por el total de unidades de camarón producido. También miden la intensidad del capital, intensidad de mano de

obra, y factor de conversión alimenticia, al mismo tiempo que el desempeño de la operación de la granja.

Nuevamente, cada una de las medidas ignora la variación de la calidad y cantidad de las otras entradas.

- La cantidad de las entradas más importantes por unidad de suelo o espejo de agua, como:
- El costo de operación por hectárea se calculó de la siguiente manera

$$C_{oph} = \frac{C_{op}}{at}$$

donde C_{op} es el costo total de operación y at el número total de hectáreas dándose en \$/ha.

- El Alimento A requerido por hectárea se obtuvo con la siguiente ecuación

$$A = \frac{T_A}{at}$$

donde T_A es el total de alimento incorporado y at el número total de hectáreas.

- El fertilizante f requerido por hectárea se calculó de la siguiente manera

$$f = \frac{T_f}{at}$$

donde T_f es el total de alimento incorporado y at el número total de hectáreas

Estos indicadores también miden la intensidad de operación y posible impacto en el crédito, empleo y alimento/fertilizante.

Beneficio neto

El Beneficio neto bn se calculó con la siguiente ecuación

$$bn = T_i - C_{op}$$

donde T_i total de ingresos brutos y C_{op} el costo total de operación de la producción.

Proporción costo beneficio

La Proporción del beneficio neto G_{bn} para los costos de operación se hayo de la siguiente manera

$$G_{bn} = \frac{bn}{C_o}$$

Donde bn es el beneficio neto y C_o corresponde a los costos de operación.

DIAGRAMA DE FLUJO –FASES DEL PROYECTO

En el siguiente diagrama podemos observar las tres fases principales del componente experimental del proyecto.

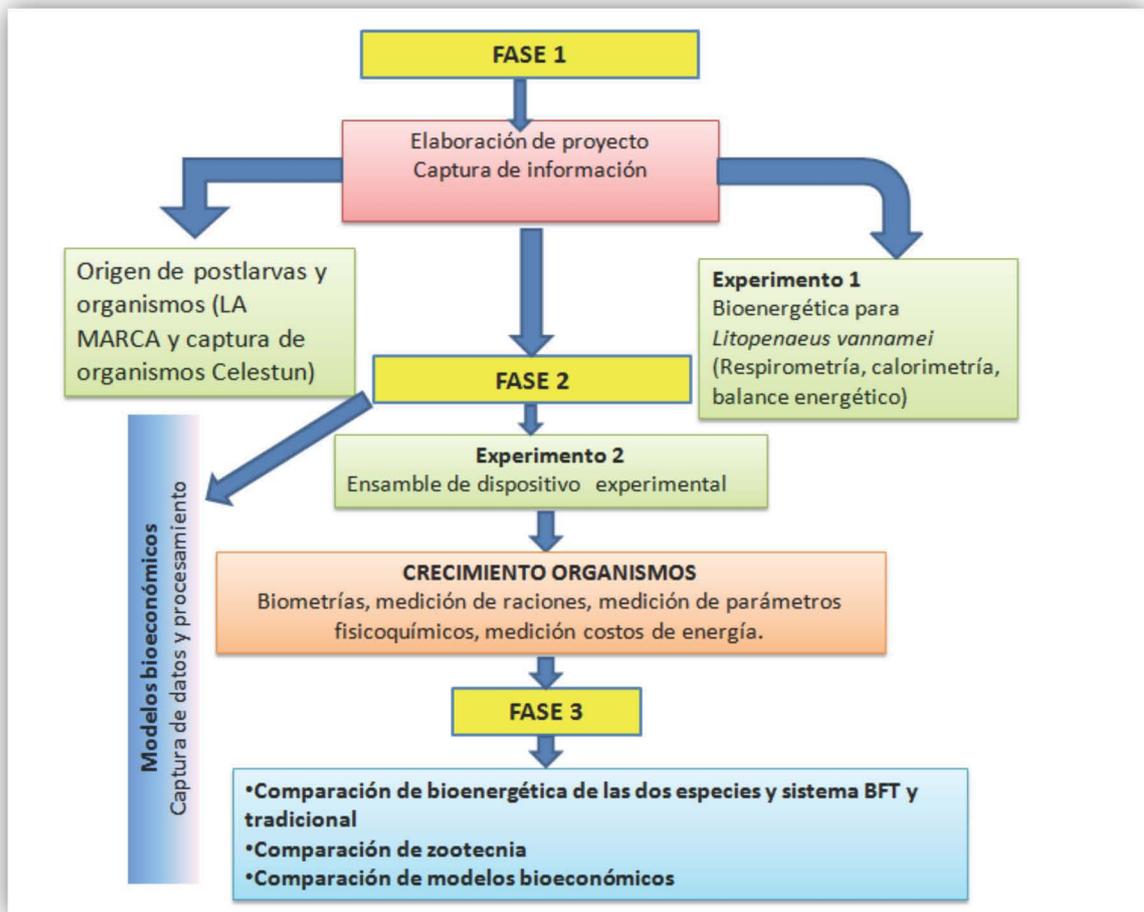


Figura 23. Fases del componente experimental del proyecto.

INFRAESTRUCTURA Y RECURSOS MATERIALES

Este trabajo se realizó en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M. con sede en Sisal, Yucatán. Con el apoyo financiero del CONACYT-CIENCIA BASICA (60824).

Origen y mantenimiento

Las postlarvas de *L. vannamei* fueron adquiridas en la granja de camarón LA MARCA, Sisal. Y la recolección de postlarvas de *F. duorarum* se hizo en el municipio de Celestún.

Para la medición de los parámetros relacionados con calidad de agua como la temperatura, la salinidad, oxígeno disuelto y pH fue necesario el uso de un multiparámetros de la marca Hach®, modelo HQ40d, igualmente para la evaluación del amonio, nitrito y nitrato se utilizó el kit HACH. La medición de concentración de sólidos suspendidos en el agua en el sistema de BFT fueron necesarios tres tubos IMHOFF. En el caso del mantenimiento de la microbiota presente en este último sistema de igual manera se utilizó melaza como fertilizante.

Experimentos y análisis de muestras

Para el experimento 1 se utilizaron 6 estanques de 20 ton con su sistema de bombeo de agua y aireadores. En el proceso de respirometría se utilizaron 9 cámaras respirométricas de 2 L cada una, mangueras, cubetas, cronómetro, probeta de 10 ml, soporte universal, distribuidor, tubos eppendorff, aireadores, bombas oxímetro marca YSI 5000.

Para el experimento 2 se utilizaron 40 tanques plásticos de 40 L, contenedor de agua donde se ubicó el mesocosmos, bombas, llaves de paso, aireadores. En la fase de respirometría se utilizaron 10 cámaras respirométricas de 1 L, mangueras, cubetas, cronómetro, probeta de 10 ml, soporte universal, distribuidor, tubos Eppendorff, aireadores, bombas medición de oxígeno con oxímetro marca YSI 5000.

En la medición de concentración amoniacal fue necesario utilizar microplacas, espectrofotómetro, pipetas y algunos químicos. En la calorimetría fueron necesarios horno, bomba calorimétrica, morteros, balanza analítica, bureta, Erlenmeyer, vasos de

precipitado, químicos.

El alimento utilizado fue uno comercial del 35% de proteína cruda (MaLa Cleyton®) su tasa de suministro se dio de acuerdo a la proporción de biomasa de los individuos en el tiempo (Rosas,2003).

Análisis de datos

Para el análisis de consumo de oxígeno fue necesaria la plataforma de trabajo MATLAB y para el análisis bioeconómico, raciones, sistemas y especies el programa STATISTICA y SOLVER.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Litopenaeus vannamei

- **EXPERIMENTALES**
- **EXPERIMENTO I . Comparación del balance bioenergético de *L. vannamei* en sistema de agua clara y BFT en estanqueria externa**
- **EXPERIMENTO II. Comparación de balance energético de la especie *L. vannamei* en sistema de agua clara y BFT, con dos raciones diferentes (óptima y tradicional)**
- **ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.**

EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos durante dos periodos experimentales, en los dos sistemas de cultivo tradicional y BFT, de la especie *L. vannamei* (camarón blanco del pacífico), durante la etapa de engorda. Los principales aspectos destacados son los parámetros fisicoquímicos, zootécnicos y bioenergéticos.

EXPERIMENTO I

Comparación del balance bioenergético de *L. vannamei* en sistema de agua clara y BFT en estanquería externa

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los rangos establecidos como óptimos para el crecimiento y desarrollo de los camarones peneidos. Con un promedio de concentración de oxígeno disuelto en el agua de 6.91 ± 0.16 y 6.91 ± 0.23 mg/L para BFT y AC respectivamente. La temperatura estuvo entre 18.0 - 28.8 °C, con un promedio total de 22.32 ± 1.16 °C para el sistema de BFT y para el sistema de agua clara se mantuvo un rango de 18.4 - 26.8 °C con un promedio total de 22.94 °C ± 1.11 . En cuanto a la salinidad se tuvo un promedio de 39.68 ± 0.03 para BFT y 39.05 ± 0.29 para AC. En el caso del pH para los dos sistemas se mantuvo en 8.58 ± 0.06 y 8.64 ± 0.03 promediándolos el primero para el sistema de BFT y el segundo para el sistema de agua clara o tradicional, como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor máximo y mínimo en la especie *Litopenaeus vannamei* en sistema de cultivo tradicional (Agua Clara) y Biofloc (BFT).

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|------------|------|------|----------|------------|------|------|
| | BFT | | | | AC | | | |
| | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min |
| Oxígeno | 6.9 | 0.2 | 7.8 | 5.6 | 6.9 | 0.2 | 8.7 | 6.1 |
| Temperatura | 22.3 | 1.2 | 28.8 | 18.0 | 22.9 | 1.1 | 26.8 | 18.4 |
| Salinidad | 39.7 | 0.03 | 42.0 | 37.5 | 39.1 | 0.3 | 40.0 | 38.2 |
| Vol Floc | 6.7 | 3.1 | 15.0 | 4.6 | - | | - | - |
| pH | 8.6 | 0.06 | 9.1 | 8.3 | 8.6 | 0.03 | 9.1 | 8.5 |

Zootecnia

- Supervivencia

Como podemos observar en la Tabla 4 la supervivencia para los dos tratamientos no tuvo diferencias significativas $p > 0.05$ con un 90% para el tratamiento de BFT y un 87% para el tratamiento en agua clara de supervivencia.

- Crecimiento

Durante el experimento inicialmente se incorporaron organismos de 0.53 y 0.55 g en los sistemas de BFT y AC respectivamente y al finalizar el experimento se obtuvieron pesos promedio por individuo de 36.12 ± 5.2 g para el sistema de biofloc y 35.2 ± 0.58 g para el sistema de agua clara, manteniéndose muy parejos los pesos en los dos sistemas. Sin presentar diferencias significativas con un $p > 0.05$ en los valores de peso final, ganancia en peso y supervivencia (Tabla 4).

Tabla 4. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie *L. vannamei*.

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | |
|-----------------------------|------------|------------|
| Variable | BFT | AC |
| Peso inicial (g) | 0.5±0.28 | 0.5±0.00 |
| Peso final (g) | 36.1±5.20 | 35.2±0.6 |
| Ganancia de peso (g) | 35.6±4.7 | 34.7±15.6 |
| Biomasa (g) | 5199.0±5.2 | 4891.6±5.7 |
| Supervivencia % | 90.0±7.01 | 87.0±7.1 |
| FCA | 2.06 | 3.01 |

La diferencia en ganancia de peso para los dos sistemas fue de 35.58 g para el sistema de biofloc y 34.65 para el sistema de agua clara. La biomasa total obtenida para el sistema de BFT fue de 5199.04 g y 4891.65 para el sistema de agua clara.

Y el factor de conversión alimenticia que se tuvo presente estuvo en 2.06 para el sistema de BFT y 3.01 para el sistema de AC.

Balance bioenergético

Al terminar la captura y procesamiento de datos históricos de *L. vannamei* se continuó con el análisis bioenergético para así poder determinar y evaluar la forma de distribución de energía de los individuos en los dos sistemas; iniciando con las corridas respirométricas para la determinación de consumo de oxígeno, seguido de los análisis calorimétricos y por último el balance. Obteniendo así, que la distribución de energía de la especie *L. vannamei* en el sistema de BFT y agua clara es diferente, con valores principalmente en el caso de la energía digerida de 2236.73 J día⁻¹ camarón⁻¹

para el sistema de BFT y 5131.88 J día⁻¹ camarón⁻¹ en el sistema de agua clara y en la respiración de 1429.98 J día⁻¹ camarón⁻¹ para el sistema de BFT y 3862.80 J día⁻¹ camarón⁻¹ para el agua clara.

Tabla 5. Balance energético de *L. vannamei* en sistemas de biofloc y Agua Clara

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Tratamiento | E.R. (O ₂) | | E.NH ₃ | RE | |
| | ED | HeE+HiE | UE+ZE | RE | E _{EXV} |
| BFT | 2236.73 ^a | 1429.98 ^a | 181.76 ^a | 589.61 ^a | 35.38 |
| AC | 5131.88 ^b | 3862.80 ^b | 419.76 ^b | 785.11 ^b | 48.07 |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas P≤ (0.05)

Y como podemos observar en la Tabla anterior (Tabla 5) en todos los componentes del balance energético se presentaron diferencias significativas p<0.05. Corroborando que hay una estrategia de distribución de energía en los organismos cuando se encuentran bajo condiciones de cultivo diferentes en este caso en el sistema de cultivo tradicional o agua clara y el sistema de BFT.

- Eficiencia energética

Tabla 6. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en tratamiento de agua clara y BFT para *L. vannamei*.

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tratamiento | energía absorbida | energía de asimilación | eficiencia de absorción | eficiencia de asimilación |
| BFT | 2054.96 ^a | 2019.58 ^a | 91.88 | 90.18 |
| AC | 4712.11 ^b | 4664.04 ^b | 91.82 | 90.87 |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas P≤ (0.05)

En la Tabla 6 se evidencia la diferencia de estrategia de distribución de energía, en la energía absorbida con valores de 2054.96 joule/día/camarón y 4712.11 J día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT y AC respectivamente y asimilada con valores de 2019.58 J día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT, y 4664.04 J día⁻¹ camarón⁻¹ para AC. Presentando diferencias significativas entre tratamientos p<0.05.

EXPERIMENTO II

Comparación de Balance energético de la especie *L. vannamei* en sistema tradicional y BFT, con dos raciones diferentes (óptima y tradicional)

Parámetros físicoquímicos

Los parámetros físico-químicos como la salinidad (36-37), el oxígeno disuelto en el agua (4.3-5.5 mg/L), el pH (7.1- 7.9) y la temperatura (26.0°C) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Se procuró mantener el ambiente controlado dentro de los dos sistemas.

Los parámetros físicoquímicos se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para el desarrollo y crecimiento de camarones peneidos sin presentar diferencias significativas debido al ambiente controlado donde se dispusieron los organismos. En la Tabla 7 podemos observar los valores para la especie en los sistemas con su respectiva ración (óptima y tradicional).

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor mínimo y máximo en la especie *L. vannamei* en sistema de cultivo tradicional (Agua clara), BFT y las respectivas raciones para cada uno (tradicional y óptima).

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|------------|------|------|--------------------|------------|------|------|---------------|------------|------|------|--------------------|------------|------|------|
| Parámetros | BFT | | | | | | | | AC | | | | | | | |
| | Ración óptima | | | | Ración tradicional | | | | Ración óptima | | | | Ración tradicional | | | |
| | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min |
| Oxígeno (mg L ⁻¹) | 5.1 | 0.2 | 5.7 | 5.2 | 4.3 | 1.0 | 5.4 | 5.1 | 4.4 | 0.3 | 5.4 | 5.2 | 5.2 | 0.4 | 5.4 | 4.9 |
| Temperatura (°C) | 26.6 | 0.6 | 26.7 | 26.5 | 26.6 | 1.5 | 26.6 | 26.5 | 26.5 | 1.8 | 26.5 | 26.5 | 26.4 | 1.8 | 26.5 | 26.4 |
| Salinidad | 36.8 | 0.3 | 36.8 | 36.8 | 36.8 | 0.7 | 36.8 | 36.8 | 36.6 | 0.5 | 36.6 | 36.6 | 30.5 | 0.4 | 36.6 | 36.6 |
| Vol. Floc (ml/L) | 6.7 | 3.1 | 15.0 | 4.6 | 6.7 | 3.1 | 15.0 | 4.6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| pH | 7.9 | 0.9 | 7.5 | 8.1 | 7.8 | 0.05 | 7.9 | 7.8 | 7.7 | 0.08 | 7.8 | 7.6 | 7.6 | 0.08 | 7.8 | 7.6 |
| TAN (mg L ⁻¹) | 0.03 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.06 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.03 | 0.07 | 0.1 | 0.0 | 0.02 | 0.03 | 0.0 | 0.0 |
| Nitrito (mg L ⁻¹) | 0.5 | 0.6 | 1.0 | 0.0 | 0.4 | 0.3 | 0.7 | 0.0 | 0.02 | 0.01 | 0.0 | 0.0 | 0.02 | 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| Nitrato (mg L ⁻¹) | 1.0 | 0.9 | 2.1 | 0.0 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | 1.0 | 0.2 | 0.8 | 0.3 | 0.9 | 0.6 |

Zootecnia

- **Supervivencia**

La supervivencia obtenida para la especie *L. vannamei* solo presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) a través del análisis factorial entre los sistemas de cultivo, siendo la condición del biofloc la que presentó supervivencias más elevadas (85.71 % para BFT con una ración óptima y 88.57% para BFT con una ración tradicional) mientras que la ración afectó estadísticamente a la supervivencia con un $p > 0.05$. En las Tablas 8 y 9 podemos observar los valores más detallados para cada uno de los tratamientos relacionados a este parámetro zootécnico.

- **Ganancia en peso y crecimiento**

Los resultados al hacer el anova bifactorial fueron significativos para el sistema de cultivo como factor principal ($p < 0.05$). El BFT presentó mayor ganancia de peso con un valor promedio de 1.1 g/semana, mientras que el sistema de agua clara tuvo ganancias de peso promedio de 0.2 g/semana. No se presentaron interacciones significativas entre los factores de ración evaluados con el análisis obteniendo un $p > 0.05$.

La biomasa final de los organismos por tratamiento fue de 86.5 ± 14.3 g para el tratamiento VBO, 97.1 ± 3.4 g para el tratamiento VBT, 67.7 ± 0.65 g para el tratamiento VAO y 74.8 ± 1.0 para el tratamiento VAT, corroborando nuevamente una mayor biomasa los organismos en el sistema de BFT.

Tabla 8. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie *L. vannamei*.

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Variable | BFT | | AC | |
| | Ración óptima | Ración tradicional | Ración óptima | Ración tradicional |
| Peso inicial (g) | 9.4±0.5 | 9.5±0.9 | 12.2±1.1 | 11.9±1.3 |
| Peso final (g) | 17.3±2.0 | 19.4±3.4 | 13.5±0.7 | 14.8±1.0 |
| Ganancia de peso (g) | 7.8±2.1 | 9.9±3.2 | 1.3±1.3 | 2.9±0.9 |
| Ganancia de peso/semana (g) | 1±0.3 ^a | 1.2±0.4 ^a | 0.2±0.2 ^b | 0.4±0.1 ^b |
| Biomasa (g) | 86.5±2.0 | 97.1±3.4 | 67.7±0.65 | 74.1±1.0 |
| Supervivencia % | 85.7±14.3 ^a | 88.6±12.0 ^a | 65.7±19.2 ^b | 65.7±7.8 ^b |
| FCA | 1.3±0.1 ^{***} | 2.0±0.2 [*] | 1.3±0.1 ^{***} | 2.0±0.2 [*] |

Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal sistema de cultivo. Número de asteriscos en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal ración.

En la Tabla 8 podemos observar los valores promedio en ganancia en peso, peso final y peso inicial en cada uno de los tratamientos aplicados para la especie *L. vannamei*.

Se realizó el análisis bifactorial para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos y raciones en las variables de ganancia de peso, biomasa, supervivencia y FCA. Cabe resaltar que para las cuatro se obtuvo una distribución normal, las homogeneidades de varianza no tuvieron diferencias significativas $p > 0.05$.

En el caso de la biomasa se presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos con un valor de $p < 0.05$.

Para la supervivencia se presentaron diferencias significativas entre tratamientos de las interacciones con valores de $p < 0.05$ presentando una mayor supervivencia el sistema de biofloc en comparación con el del agua clara.

El FCA no presentó diferencias significativas entre las raciones ($p < 0.05$) que se dispusieron a nivel experimental, sin embargo, no presentó más diferencias.

Tabla 9. Valores de crecimiento para *L. vannamei* en los cuatro tratamientos con su respectiva desviación estándar.

| <i>L. vannamei</i> | | | | | | | |
|-----------------------|------------|-------------------|------------|------------------------|------------|-------------------|------------|
| <i>AC^a</i> | | | | <i>BFT^b</i> | | | |
| Tradicional | | Óptima | | Tradicional | | Óptima | |
| Promedio | desviación | promedio | Desviación | promedio | Desviación | promedio | desviación |
| 0.19 ^a | 0.07 | 0.09 ^b | 0.09 | 0.52 ^a | 0.11 | 0.63 ^b | 0.15 |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas $P \leq (0.05)$

El ANOVA bifactorial resultó significativo para el factor de sistema de cultivo ($p < 0.05$), al igual que se tuvieron diferencias significativas con el factor ración ($p < 0.05$) teniendo mayor coeficiente de crecimiento la ración tradicional debido a su disponibilidad de alimento. Los organismos cultivados en el sistema de BFT presentaron mayor crecimiento con las dos raciones respecto a los cultivados en el sistema de agua clara, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en la interacción de tratamientos ($p > 0.05$) como podemos observar en la Tabla 9.

- **Factor de conversión alimenticia**

Se obtuvo para los cuatro tratamientos en la especie *L. vannamei* en el caso de las raciones óptimas en BFT y agua clara 1.34 para los dos y en la ración tradicional 2.02 y 2.03 como se puede ver en la Tabla 8 cumpliendo con la disminución en gasto de alimento comercial que se quiere demostrar con la ración óptima.

- **Indicadores Fisiológicos**

- **Consumo de oxígeno**

Como podemos observar en la siguiente Tabla 10 hay variaciones en el consumo de oxígeno en las diferentes cámaras y tratamientos, para observar de una mejor manera su comportamiento se realizó el análisis de series de tiempo para cada uno de estos.

Tabla 10. Consumo de oxígeno de Joules por hora por cámara para *L. vannamei* en los cuatro tratamientos.

| Cámara | consumo de oxígeno en joule/número de horas/cámara | | | |
|--------|--|--------------------|---------------|--------------------|
| | <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | |
| | AC | | BFT | |
| | Ración óptima | Ración tradicional | Ración óptima | Ración tradicional |
| 1 | 533.3 | 953.2 | 718 | 1014.1 |
| 2 | 477.5 | 1465.9 | 559.6 | 779.3 |
| 3 | 604.2 | 686.2 | 641.0 | 701.3 |
| 4 | 680.1 | 854.8 | 893.2 | 737.4 |
| 5 | 625.0 | 940.1 | 538.7 | 488.1 |
| 6 | 759.6 | 764.2 | 699.7 | 736.4 |

- ***FEO's de las integrales de cada corrida***

VAT

El porcentaje de varianza fue de 50.07% presenta una tendencia positiva, a estas gráficas se les calculó la integral con el método del trapecio y de esta manera se obtuvo el consumo total de energía en joule por cámara en el tratamiento de BFT con ración óptima al cual correspondió un promedio de los nueve valores de 944.06 joules por día (Figura 24).

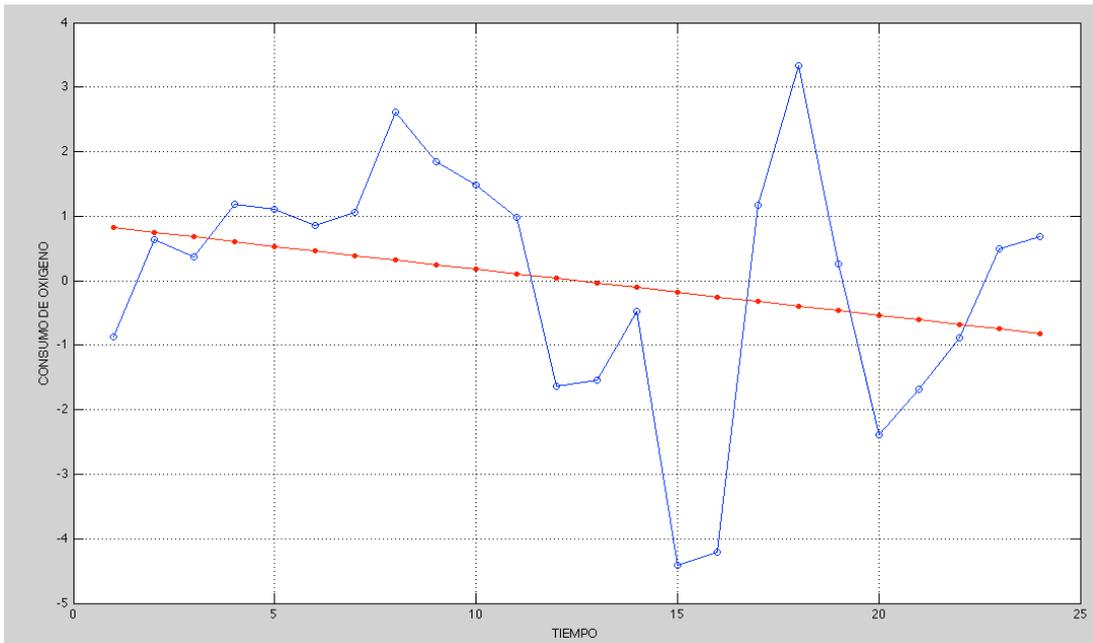


Figura 24. Funcion empírica ortogonal de la integral VAT para obtención de costo energético en respiración

VAO

El porcentaje de varianza del modo más energético capturó 51.12 % de la energía total, este modo exhibe una tendencia positiva. Estas gráficas se obtuvieron calculando la integral del consumo de oxígeno usando la regla de Simpson, y de esta manera se obtuvo el consumo total en joules por cámara en el tratamiento de agua clara con ración óptima | cual correspondió a 613.29 joules/día (Figura 25).

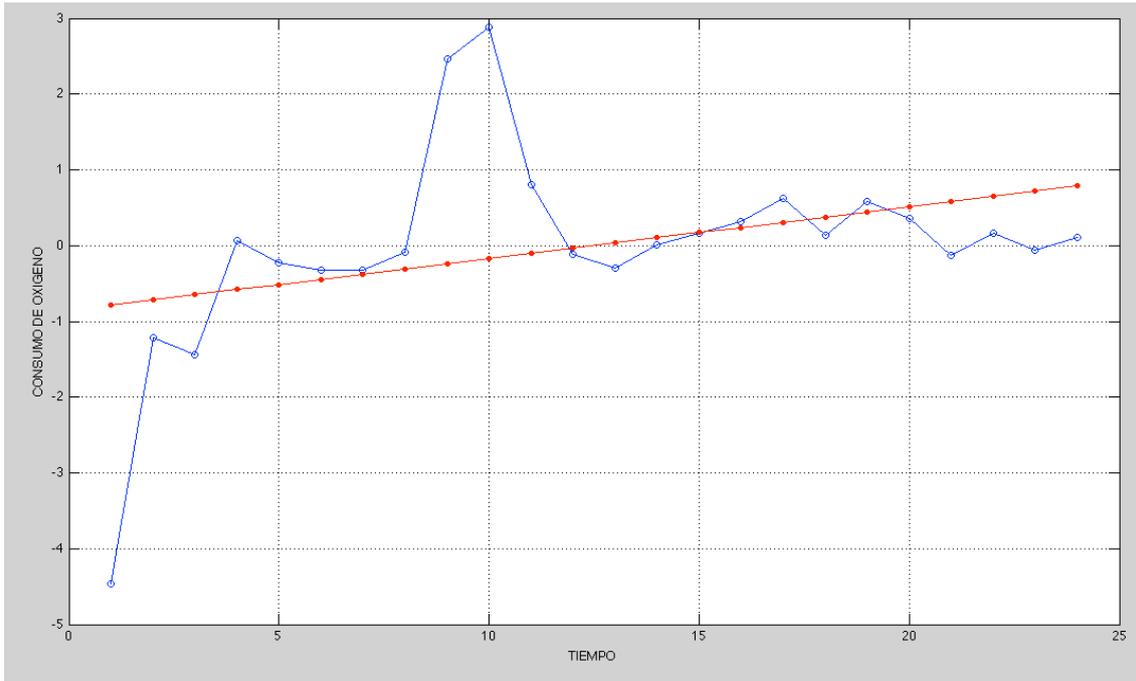


Figura 25. Funcion empírica ortogonal de la integral VAO para obtención de costo energético en respiración

VBO

El porcentaje de varianza del modo más energético capturó 49.04% de la energía total, este modo exhibe una tendencia positiva. Estas gráficas se obtuvieron calculando la integral del consumo de oxígeno usando la regla de Simpson, y de esta manera se obtuvo el consumo total en joules por cámara en el tratamiento de agua clara con ración óptima el cual correspondió a 675.01 joules/día (Figura 26).

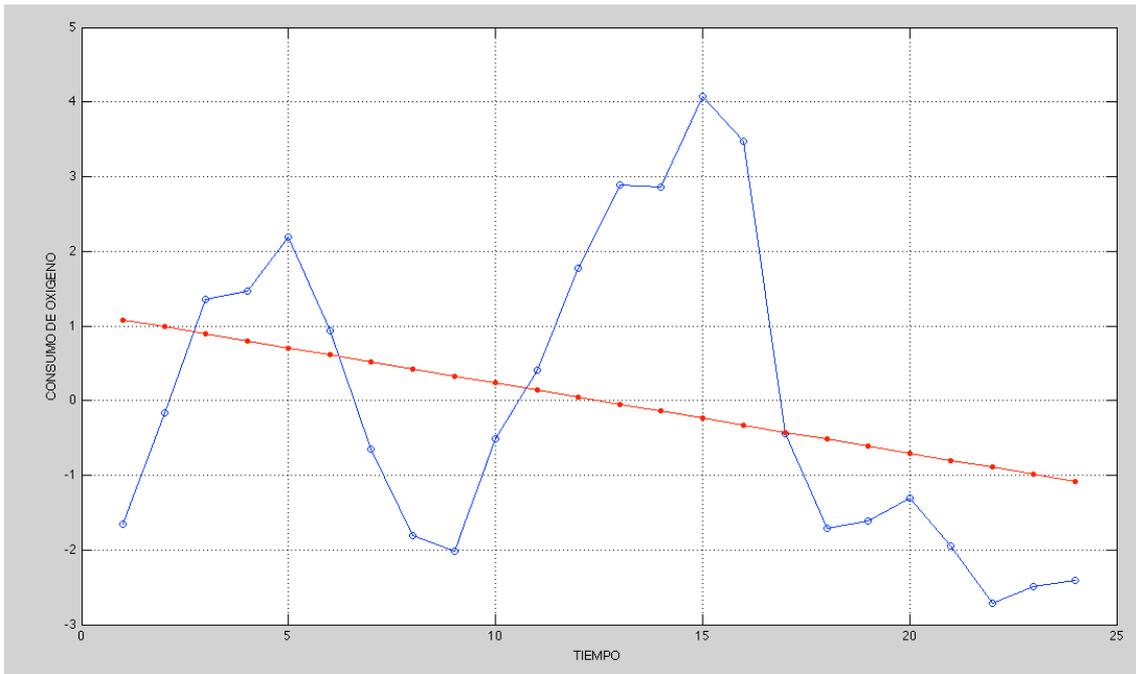


Figura 26. Funcion empírica ortogonal de la integral VBO para obtención de costo energético en respiración

VBT

El porcentaje de varianza fue de 58.48 % y presenta una tendencia positiva, a estas gráficas se les calculó la integral con el método del trapecio y de esta manera se obtuvo el consumo total de energía en joule por cámara en el tratamiento de BFT con ración óptima al cual correspondió un promedio de los nueve valores de 742.76 joules por día (Figura 27)

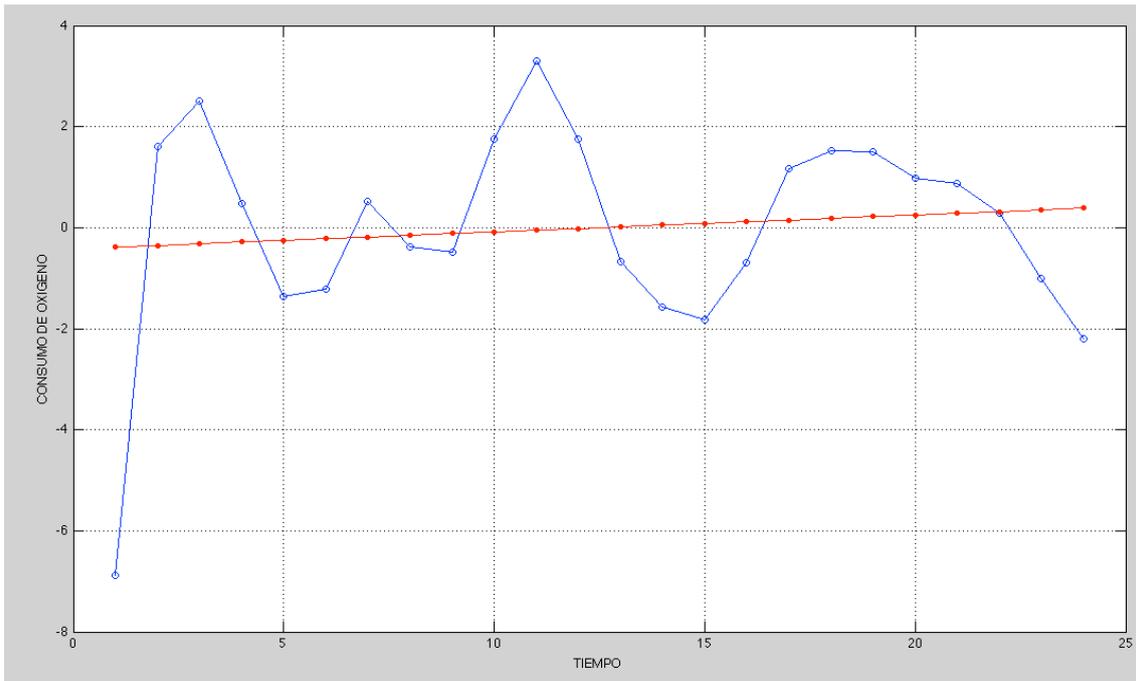


Figura 27. Funcion empírica ortogonal de la integral VBT para obtención de costo energético en respiración

Balance bioenergético

Para determinar la distribución de energía en los cuatro tratamientos que se llevaron a cabo se realizó el balance energético para cada uno de ellos. Mostrándonos en el caso del sistema BFT que no hubo diferencias significativas entre los dos valores de energía digerida obtenido para las dos raciones de alimento ofrecidas con valores de 2578.26 joule/día/camarón para la tradicional y 2427.33 joule/día/camarón para la óptima, de igual forma en energía utilizada en los procesos de respiración, amonio y exubia no se presentaron diferencias.

Tabla 11. Comparación de los componentes de la ecuación de la ecuación de balance energético calculados por tratamiento en Joules de las corridas.

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tratamiento | RACIÓN | Valor ED | E.R. (O ₂) | E.NH ₃ | RE | |
| | | | HeE+HiE | UE+ZE | RE | E _{EXV} |
| BFT | tradicional | 4363.8 ^{a*} | 1782.6 [*] | 349.9 ^{a*} | 2104.9 ^{a*} | 126.3 ^{b**} |
| BFT | óptima | 4042.7 ^{a*} | 1620.0 [*] | 324.0 ^{a*} | 1980.0 ^{a*} | 118.8 ^{b**} |
| AC | tradicional | 3451.7 ^{b**} | 2265.8 ^{**} | 280.8 ^{b**} | 854.0 ^{b**} | 51.2 ^{a*} |
| AC | óptima | 2025.8 ^{b**} | 1471.9 ^{**} | 165.5 ^{b**} | 366.5 ^{b**} | 22.0 ^{a*} |

Número de asteriscos en el súperíndice indica diferencias en sistema de cultivo, como factor principal y las letras diferentes en el súperíndice indica diferencias en la ración, como factor principal

En el caso del balance bioenergetico que se realizó para estos cuatro tratamientos, hubo una probabilidad normal y homogeneidad de varianza en todas las variables que se analizaron.

Solo se presentaron diferencias significativas como resultado del análisis bifactorial con un valor de $p < 0.05$, en el caso de la energía digerida en la interacción del factor ración.

- **Eficiencia energética**

Al relativizar el cálculo de uso de las eficiencias el valor del activo de estos parámetros, la eficiencia de absorción como la asimilación mostraron diferencias significativas en el factor sistema de cultivo ($P < 0.05$) al igual que la proporción de energía canalizada para el crecimiento fue significativamente más elevada en los juveniles provenientes del floc con respecto a los provenientes de agua clara ($P = \leq 0.05$) como se puede observar en la Tabla 12 En cuanto al factor ración podemos evidenciar que en el sistema de agua clara se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 12. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en los cuatro tratamientos.

| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tratamiento | Ración | energía absorbida | energía de asimilación | eficiencia de absorción | eficiencia de asimilación |
| AC | Tradicional | 1849.3 ^{a*} | 1798.0 ^{a*} | 92.0 ^{a*} | 89.4 ^{a*} |
| AC | óptima | 962.2 ^{b*} | 940.3.0 ^{b*} | 92.0 ^{a*} | 89.8 ^{a*} |
| BFT | Tradicional | 3851.3 ^{a**} | 3725.0 ^{a**} | 92.0 ^{b*} | 89.0 ^{b*} |
| BFT | óptima | 3718.7 ^{a**} | 3600.0 ^{a**} | 92.0 ^{b*} | 89.0 ^{b*} |

Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal sistema de cultivo. Número de asteriscos en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal ración.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Analizada la fase experimental, se procedió a describir los resultados bioeconómicos para la producción de camarón blanco del pacífico (*L. vannamei*), en fase de engorda. En una primera parte se presentan los resultados de la modelación del crecimiento, que posteriormente se utilizaron en la fase del sub-modelo biológico para estudiar la gestión óptima en cada uno de los sistemas de cultivo (BFT y AC). Y por último se realizó la modelación bioeconómica para cada uno de los sistemas con los parámetros críticos de cada uno.

- **Modelación de crecimiento**

Para realizar el análisis bioeconómico fue necesario establecer el modelo de crecimiento más adecuado para el desarrollo y ajuste de los datos observados durante el experimento, en este caso se utilizó la ecuación de Von Bertalanfy.

En esta sección se describen los resultados de la ecuación de crecimiento (Von Bertalanfy) que se aplicó. Esto con el objetivo de definir los parámetros de la función matemática que mejor simulan la trayectoria de crecimiento y con él los resultados bioeconómicos. Esta elección se realizó por medio de la significancia de los parámetros, la validación y simulación de las curvas de crecimiento desde el periodo $t=0$ a $t=160$.

- **Validación y simulación**

La ecuación de crecimiento Von Bertalanfy demostró representar el incremento en peso de los camarones en los dos sistemas de cultivo desde el periodo $t=0$ hasta el $t=160$ días de cosecha. En la Tabla 13 Podemos ver los resultados de validación. Se corroboró la veracidad del modelo a través del estadístico U de Theil, que confirmó el ajuste de los datos observados vs. Los modelados para los dos sistemas generando con precisión las observaciones de peso para cada uno. En los sistemas de cultivo los valores de U de Theil fueron menores al valor crítico de 0.2 (Power, 1993 en Aramburu, 2011) de 0.000510 para agua clara y 0.056 para BFT, y presentando valores bajos en la media y en la varianza.

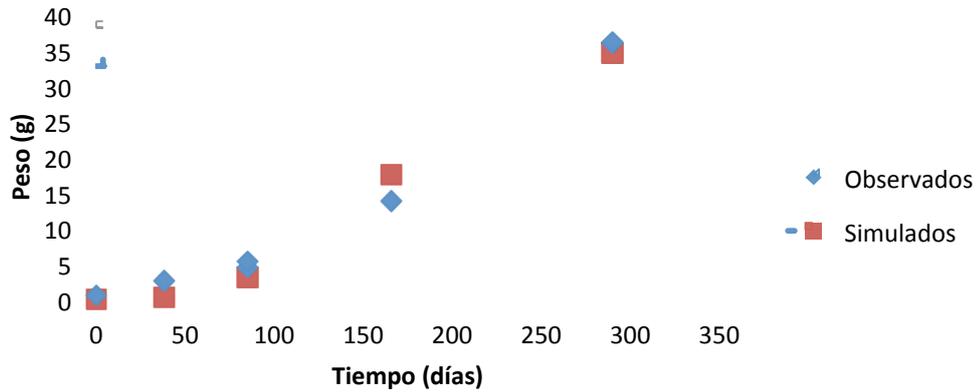
Tabla 13. Ajuste del modelo de crecimiento Von Bertalanfy para *L. vannamei* con su respectiva estadística de validación para los dos tratamientos.

| PARAMETROS DE SIMULACION | <i>Litopenaeus vannamei</i> | |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | TRATAMIENTO BFT | TRATAMIENTO AGUA CLARA |
| CRECIMIENTO | | |
| W_{∞} | 40 | 40 |
| α_0 | 180 | 135.6 |
| B | 0.009 | 0.0179 |
| ESTADISTICAS DE VALIDACION | | |
| U DE THEIL | 0.0005 | 0.056 |
| Um | 0.02 | 0.001 |
| Us | 0.014 | 3.32E-05 |
| Uc | 0.01 | 0.01 |

- **Ajuste del modelo en el sistema de BFT**

En la siguiente Figura podemos observar la evolución que tuvo el crecimiento y el ajuste de los datos simulados y observados para el sistema de BFT y AC. La línea continua representó el peso promedio de los datos simulados de los organismos y los rombos azules, las observaciones de los pesos obtenidos de los organismos a nivel experimental. A través del tiempo, el modelo simuló adecuadamente un peso (g) de acuerdo al sistema de cultivo en el cual se estaban desarrollando los organismos. Al final del cultivo los organismos de *L. vannamei* cultivados en el sistema de BFT tuvieron un peso promedio simulado de 12.20 g y 12.08 g para AC

Ajuste modelo de crecimiento BFT



Ajuste modelo de crecimiento AC

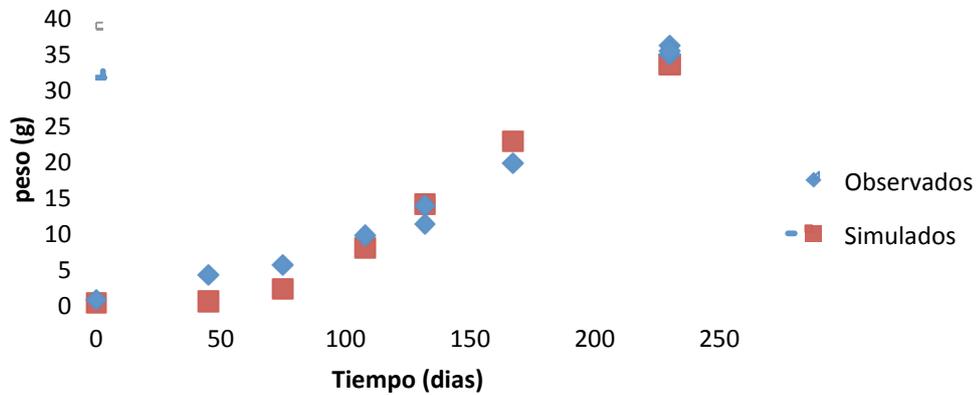


Figura 28. Curva de crecimiento de ajuste del modelo Von Bertalanfy con datos simulados y datos observados en los sistemas de cultivo de BFT y AC .

- Análisis económico en el cultivo de engorda del camarón blanco del pacífico

Finalizando el proceso de validación, se procedió a estudiar económicamente el cultivo. Lo cual se llevó a cabo utilizando la técnica de simulación, esto con el objetivo de tener una mejor claridad del proceso en su conjunto (técnico-biológico y económico del cultivo). Por cada uno de los dos sistemas de cultivo se obtuvieron los principales resultados técnico-biológicos y económicos de un ciclo de cultivo en las densidades manejadas, bajo las condiciones y estanques utilizados. En las siguientes dos Tablas (14) y (15) una para cada

uno de los istemas podemos observar todos los parámetros utilizados para llevar a cabo el estudio a mas cabalidad.

Tabla 14. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el modelo bioeconomico en tratamiento BFT de *L. vannamei*.

| TRATAMIENTO BFT | | |
|------------------------------------|---|------------------|
| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | |
| PARAMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
| Crecimiento | | |
| w infinito | | 40 |
| K | | 0.009 |
| t0 | | 180 |
| Mortalidad/sobrevivencia | | |
| Tasa de mortalidad (m) | | 0.00034 |
| Organismos sembrados | Estanque | 1250 |
| Financiero | | |
| Alimento | Ton | 12,600 |
| Alimento | \$ saco 20 kilos (incluye flete) | 353 |
| Alimento | | \$17.650 |
| PRECIO DE SEMILLA | \$ VIAJE/1000 juveniles | \$120.000 |
| FCA | | 3.6 |
| Volumen tanque | m3 | 20 |
| Recambio diario | % | 20 |
| Recambio diario | m3 | 4.0 |
| Gasto bomba | l/min | 250 |
| Operación diaria | Min | 16 |
| Bomba | Hp | 1.0 |
| Costo de la melaza | \$ / kilo | 4.5 |
| Energía | watt hora/estanque | 93.750 |
| Costo E | \$ kw hora | 0.7 |
| Precio de venta | \$ / kilo | 100.00 |

Tabla 15. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el modelo bioeconómico en tratamiento Agua Clara de *L. vannamei*.

| TRATAMIENTO AC | | |
|------------------------------------|---|-----------------|
| <i>Litopenaeus vannamei</i> | | |
| PARÁMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
| Crecimiento | | |
| w infinito | | 40 |
| K | | 0.017903931 |
| t0 | | 135.5732411 |
| Mortalidad/sobrevivencia | | |
| Tasa de mortalidad (m) | | 0.000557904 |
| Organismos sembrados | Estanque | 1250 |
| Financiero | | |
| Alimento | Ton | 12600 |
| Alimento | \$ saco 20 kilos (incluye flete) | 353 |
| Alimento | \$ | \$ 17.65 |
| PRECIO DE SEMILLA | \$ VIAJE/1000 juveniles | 120 |
| FCA | | 3.01 |
| Volumen tanque | m3 | 20 |
| Recambio semanal | % | 20 |
| Recambio diario | m3 | 4.000 |
| Gasto bomba | l/min | 250 |
| Operación diaria | Min | 5714.285 |
| Bomba | Hp | 1 |
| Energía | watt hora/estanque | 93.75 |
| Costo E | \$ kw hora | 0.7 |
| Precio de venta | \$ / kilo | 100 |

En la Tabla 16, podemos observar que dentro de los parámetros de producción, la supervivencia mas baja se obtuvo para los organismos bajo el sistema de cultivo AC con el 87 % siendo, esta menor un 3 % respecto a la supervivencia obtenida por BFT con un 90%. En cuanto a la biomasa total obtenida por estanque para los dos sistemas se mantuvo pareja. Lo cual los llevó a tener ingresos por venta bastante parecidos, con entradas de \$1422 y \$1428 para AC y BFT respectivamente.

En cuanto a los costos totales de operación, se presentó una diferencia del 24 % entre los dos sistemas, siendo mayores los costos acumulados de producción proyectados

para el sistema de cultivo de AC. Esto quizás debido al efecto combinado de supervivencia y FCA.

Finalmente, el costo unitario de producción no fue tan similar como se esperaba con \$132 para los organismos cultivados en agua clara y \$100 para los cultivados con sistema de cultivo BFT por cada kilogramo producido. Con una diferencia del 25 % más altos los valores en los sistemas respectivamente. Alcanzándose para el sistema de BFT el precio ideal de venta propuesto.

En base a lo anterior, se obtuvo el beneficio neto para cada uno de los sistemas, presentando valores negativos en el caso del sistema de AC \$-454.9 y \$3.0 para el sistema de BFT.

Dentro de los costos de producción, el más alto que se presentó para los dos sistemas de cultivo, fue el del alimento balanceado siendo entre el 80 % y 72 % para AC y BFT respectivamente, esto sobre el total de costos de producción para cada uno; evidenciándose el mayor consumo de alimento balanceado en el sistema tradicional de agua clara con respecto a la representación de esta variable en el BFT.

La proporción costo beneficio obtenida para los dos sistemas se presentó con valores negativos en el caso del sistema de AC con un valor de -\$459.9 y una proporción con un valor de \$1 para el sistema de BFT.

Así se hayan presentado resultados no tan alentadores en cuanto a la relación, la cantidad de productividad por hectárea fue representativa comprándola con otros ciclos de producción, proyectándose una producción de 7244.01 kg/ha para el sistema de AC y 7274.5 kg/ha para el sistema de BFT.

Tabla 16. Resultados a corto plazo de la simulación técnico-biológica y económica para los tratamiento de BFT y AC de la especie de *L. vannamei*.

| Parámetro | Unidad | Especie | |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------|------------|
| | | <i>L.vannamei</i> | |
| | | AC | BFT |
| Parámetros de producción | | | |
| Tiempo de cultivo a cosecha | Días | 230 | 290 |
| Cantidad sembrada | Org | 1250 | 1250 |
| Talla de cosecha | G | 12.2 | 12.08 |
| Supervivencia | % | 87 | 90 |
| Biomasa total | Kg | 14.22 | 14.28 |
| Ingresos por venta | | | |
| Ingresos totales | \$ | 1422.19 | 1428.7 |
| Costos de operación | \$ | 1877.06 | 1425.64 |
| Costos de semilla | \$/1000 | 120 | 120 |
| Costos de alimento | \$ | 1511.05 | 1020.49 |
| Costos de energía | \$ | 216.09 | 255.2 |
| Costos de melaza | \$ | - | 78.9 |
| Beneficio neto | \$ | -454.9 | 3.07 |
| Costo Beneficio | \$ | -454.9 | 1.00 |
| Costos unitarios | \$ | 132.00 | 99.83 |
| Productividad | Kg/ha | 7244.01 | 7274.50 |
| Productividad por alimento | kg/unidad de alimento | 0.166 | 0.14 |
| Costo de operación | \$/ha | 956220.07 | 1114890.47 |
| Alimento necesario | Kg A/Kg c | 6.02 | 7.07 |
| Fertilizante necesario | Kg F/ Kg c | | 5.53 |
| Alimento por ha | Kg A/ ha | 43611.81 | 51472.24 |
| Fertilizante por ha | Kg F/ ha | - | Depende |

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Farfatepenaeus duorarum

- **EXPERIMENTALES**
 - **EXPERIMENTO I . Comparación del balance bioenergético de *F. duorarum* en sistema de agua clara y BFT en estanquería externa**
 - **EXPERIMENTO II. Comparación de Balance energético de la especie *F. duorarum* en sistema tradicional y BFT, con dos raciones diferentes (óptima y tradicional).**
- **ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.**

EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos durante dos periodos experimentales, en los dos sistemas de cultivo tradicional y BFT, de la especie *F. duorarum* (camarón rosado del golfo de México), durante la etapa de engorda. Los principales aspectos destacados son los parámetros fisicoquímicos, zootécnicos y bioenergéticos.

EXPERIMENTO I

Comparación del balance bioenergético de *F. duorarum* en sistema de agua clara y BFT en estanquería externa

- **Origen y mantenimiento de los organismos**

Los datos utilizados para ración óptima, crecimiento y parámetros físico-químicos que fueron utilizados en los experimentos de la FASE II, fueron obtenidos de datos históricos hallados durante la realización de la tesis “comparación del balance energético del camarón rosado del Golfo de México *Farfantepenaeus duorarum* como herramienta de evaluación ecológica bajo condición de cultivo basado en el sistema de recambio limitado de agua “biofloc technology BFT” y el cultivo tradicional “ (Arbeláez, 2011), llevada a cabo en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el periodo comprendido entre septiembre de 2008 y septiembre de 2009, se realizaron los experimentos de comparación de los sistemas de producción estándar de agua clara y BFT. Postlarvas de *F. duorarum* (0.1 ± 0.3 g) fueron sembradas en 6 estanques con capacidad de 20.000 L y una densidad de inicial de 80 camarones/m³ (Figura 7).



Figura 29. Estanques externos de la Unidad MuLidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI). (Foto: Manuel Valenzuela)

Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron datos diarios, en cada uno de los 6 estanques, de salinidad (37.4-41), temperatura (21.8-28.9°C), pH (7.9- 8.8) y oxígeno disuelto en el agua (5.6-6.6 mg/L). Igualmente, se realizaron pruebas de concentración de amonio (0.2-0.6 mg/L), nitrito (0.1-0.6 mg/L) y nitrato (5.6-10 mg/L para agua clara y 7-20 mg/L para BFT) en el agua dos veces por semana (Tabla 17).

Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar en sistema de cultivo BFT y agua clara.

| Parámetro | Floc | Agua clara |
|------------------------|----------|------------|
| Temperatura (°C) | 25.5±1.2 | 25.2±1.1 |
| Oxígeno disuelto(mg/L) | 6.5±0.5 | 6.4±0.6 |
| Salinidad | 38.6±0.7 | 39.1±0.9 |
| pH | 8.0±0.2 | 7.9±0.2 |
| TAN (mg/L) | 0.3±0.1 | 0.4±0.3 |
| Nitrito (mg/L) | 0.3±0.2 | 0.2±0.1 |
| Nitrato (mg/L) | 7.3±5.5 | 12.7±2.5 |

| | | |
|------------------------|---------|---|
| Volumen de Floc (ml/L) | 7.9±3.5 | - |
|------------------------|---------|---|

Zootecnia

- **Supervivencia**

La supervivencia obtenida durante el experimento fue de un 53% aproximadamente para organismos dispuestos en BFT y 65% aproximadamente para organismos del tratamiento en agua clara.

- **Ganancia en peso y crecimiento**

Se hicieron biometrías con 30 individuos capturados al azar en cada uno de los estanques por mes (Tabla 18).

Tabla 18. Promedio de peso y ganancia de peso mensual por tratamiento con su respectiva desviacion estandar.

| Fecha | AC | | BFT | |
|--------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------|
| | Peso (g) | Ganancia en peso (g/semana) | Peso (g) | Ganancia en peso (g/semana) |
| 8 sep | 1.2±0.3 | 0.0 | 1.2±0.3 | 0.0 |
| 10 nov | 3.6±0.7 | 0.3±0.1 | 3.6±0.8 | 0.3±0.0 |
| 5 dic | 4.4±0.8 | 0.2±0.0 | 4.3±0.9 | 0.2±0.2 |
| 22 ene | 6.3±1.1 | 0.3±0.0 | 5.3±1.0 | 0.1±0.2 |
| 21 feb | 7.0±1.3 | 0.2±0.0 | 7.6±1.2 | 0.5±0.3 |
| 27 mar | 8.6±1.5 | 0.2±0.2 | 8.5±1.5 | 0.3±0.3 |
| 30 abr | 9.8±1.6 | 0.2±0.1 | 9.6±1.5 | 0.2±0.1 |
| 26 may | 10.9±2.2 | 0.3±0.1 | 10.4±1.9 | 0.2±0.1 |
| 29 jun | 12.3±2.4 | 0.3±0.1 | 12.0±2 | 0.3±0.4 |
| 29 jul | 12.7±2.3 | 0.1±0.1 | 12.2±2 | 0.1±0.2 |
| 27 ago | 13.9±2.8 | 0.3±0.3 | 13.3±3 | 0.3±0.2 |

Balance bioenergético

Al final del periodo de engorda, se realizó el análisis bioenergético con el fin de evaluar los gastos de energía de los individuos en los dos sistemas para lo cual se hicieron pruebas de respirometría y calorimetría. Los resultados mostraron que hay estrategias de distribución de energía diferentes para los dos sistemas, principalmente en la energía digerida ($1462 \text{ J día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT y $2466.2 \text{ J día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$) y la respiración ($567.8 \text{ J día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$ para BFT y $1324.6 \text{ J día}^{-1} \text{ camarón}^{-1}$) (Tabla 19).

Tabla 19. Comparación de los componentes de la ecuación de Balance energético calculados por tratamiento en Joules de las corridas nocturnas.

| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Tratamiento | Valor ED | E.R. (O ₂) | E.NH ₃ | RE | |
| | | HeE+HiE | UE+ZE | RE | E _{EXV} |
| BFT | 1461.8±130.5 ^b | 567.8±93.0 ^a | 117.6±10.7 ^a | 739.1±43.7 ^a | 44.8 |
| AC | 2466.2±157.0 ^a | 1324.6±96.1 ^b | 199.9±12.7 ^a | 896.8±85.9 ^b | 37.0 |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas $P \leq (0.05)$

Al comparar los balances bioenergéticos de *F. duorarum* en sistemas de biofloc y de agua clara no se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a la energía retenida para crecimiento (ver Tabla 19). Por el contrario, sí se presentaron diferencias significativas en la distribución de energía digerible; lo cual confirma que la especie, bajo condición de BFT de cultivo, presenta una estrategia diferente de distribución de energía.

Eficiencia energética

La eficiencia de absorción como la asimilación no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.05$), sin embargo, la proporción de energía canalizada para el crecimiento fue significativamente más elevada en los juveniles provenientes del floc con respecto a los provenientes de agua clara ($P \leq 0.05$) como se puede observar en la Tabla 20.

Tabla 20. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida en tratamiento de agua clara y BFT

| | Energía absorbida | Energía asimilada | Proporción de energía asimilada | Eficiencia de absorción | Eficiencia de asimilación | Proporción de energía canalizada al crecimiento |
|------------|---------------------------|---------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|--|
| AC | 2266.3±144.2 ^a | 2221.5±141.0 ^a | 40.3±2.3 ^a | 73.4±0.0 ^a | 71.6±0.2 ^a | 39.3±3.3 ^a |
| BFT | 1344.1±119.8 ^a | 1307.2±118.3 ^a | 57.6±4.3 ^b | 73.5±0.0 ^a | 70.9±0.4 ^a | 49.5±5.7 ^b |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas $P \leq (0.05)$

EXPERIMENTO II

Comparación de Balance energético de la especie *F. duorarum* en sistema tradicional y BFT, con dos raciones diferentes (óptima y tradicional)

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros físico-químicos como la salinidad (36.0-37.0), el oxígeno disuelto en el agua (5.6-6.6 mg/L), el pH (7.9-8.8) y la temperatura (21.8-28.9°C) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Manteniéndose así dentro de los rangos establecidos para el cultivo de camarones peneidos (Fenucci, 1988) (Tabla 23) El amonio, nitritos y nitratos en ambos sistemas se mantuvieron sus rangos dentro de las consideraciones recomendadas para estos parámetros. Los nitratos para el BFT mostraron diferencia en las dos raciones con 1.5 mg/L para la óptima y para la tradicional 0.5 mg/L presentándose por la disponibilidad de alimento en el agua. Sin embargo, el resto de parámetros no tuvieron diferencias significativas, en cuanto a sus concentraciones, en los sistemas, manteniendo bajas las concentraciones de nitritos y amonio en los dos.

Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos medidos con su respectiva desviación estándar, valor mínimo y máximo en la especie *F. duorarum* en sistema de cultivo tradicional (Agua clara), BFT y las respectivas raciones para cada uno (tradicional y óptima).

| <i>F. duorarum</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|------------|-------|-------|--------------------|------------|-------|-------|---------------|------------|-------|-------|--------------------|------------|-------|-------|--|
| Parámetros | BFT | | | | | | | | AC | | | | | | | | |
| | Ración óptima | | | | Ración tradicional | | | | Ración óptima | | | | Ración tradicional | | | | |
| | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min | Promedio | Desviación | Max | Min | |
| Oxígeno (mg L ⁻¹) | 5.21 | 0.46 | 5.28 | 5.13 | 5.07 | 0.08 | 5.28 | 4.42 | 5.40 | 0.54 | 5.23 | 5.71 | 5.37 | 0.53 | 5.54 | 5.30 | |
| Temperatura (°C) | 26.61 | 1.54 | 26.65 | 26.53 | 26.76 | 0.03 | 27.36 | 26.58 | 26.48 | 1.75 | 26.55 | 26.44 | 26.47 | 1.76 | 26.52 | 26.42 | |
| Salinidad | 36.80 | 0.70 | 36.80 | 36.80 | 36.51 | 1.72 | 36.80 | 36.19 | 36.50 | 0.44 | 36.60 | 36.60 | 36.48 | 1.32 | 36.60 | 36.60 | |
| Vol. Floc (ml/L) | 6.69 | 3.14 | 15.00 | 4.60 | 6.69 | 3.14 | 15.00 | 4.60 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| pH | 7.86 | 0.18 | 7.46 | 8.07 | 7.84 | 0.05 | 7.90 | 7.80 | 7.69 | 0.08 | 7.80 | 7.60 | 7.61 | 0.08 | 7.80 | 7.60 | |
| TAN (mg L ⁻¹) | 0.02 | 0.04 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 0.07 | 0.00 | 0.15 | 0.09 | 0.19 | 0.43 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.12 | 0.00 | |
| Nitrito (mg L ⁻¹) | 0.45 | 0.44 | 0.83 | 0.00 | 0.36 | 0.29 | 0.03 | 0.60 | 0.09 | 0.09 | 0.00 | 0.21 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | |
| Nitrato (mg L ⁻¹) | 1.29 | 1.22 | 2.70 | 0.03 | 0.51 | 0.43 | 0.88 | 0.02 | 0.63 | 0.18 | 0.50 | 0.89 | 0.63 | 0.14 | 0.15 | 0.50 | |

Zootecnia

- **Supervivencia**

Como se puede observar en la Figura 36 los organismos de la especie *F. duorarum* presentaron una supervivencia general entre 63.0-71.0 % para los cuatro tratamientos en los cuales se llevó a cabo el experimento. Sin presentar diferencias significativas entre estos mismos.

- **Ganancia en peso y crecimiento**

Los organismos de la especie *F. duorarum* tuvieron pesos iniciales promedio para los tratamientos DBO, DBT, DAO Y DAT de 1.7 g, 1.8 g, 2.4 g y 2.5 g respectivamente. Y sin tener diferencias significativas. Los pesos finales para cada uno de los tratamientos fueron 4.9 g para el tratamiento DBO y 4.4 g para el tratamiento DBT en los tratamientos de agua clara, mientras DAO Y DAT tpromediaron 4g y 4.2g respectivamente evidenciando en esta especie de igual manera un mayor crecimiento de los organismos en el sistema BFT que en el sistema de agua clara o cultivo tradicional. La ganancia en peso promedio final de los organismos en los tratamientos de BFT, DBO y DBT tuvieron 3.2g y 2.7g respectivamente por el contrario en el sistema de agua clara los valores de ganancia en peso se redujeron casi a la mitad con valores de 1.6g y 1.7g respectivamente. En la ganancia en peso por semana promedio de los organismos de esta especie en los tratamientos DBO y DBT obtuvieron valores de 0.4g y 0.3g respectivamente y en los tratamientos DAO y DAT fueron de 0.2 y 0.2 g respectivamente.

La biomasa final para los cuatro tratamientos fue de 62.9 g (DBO), 68.6 g (DBT), 65.7 g (DAO) y 71.4 g (DAT) teniendo valores con diferencias pequeñas.

Tabla 22. Variables con su respectivo promedio y desviación para crecimiento y supervivencia de la especie *F. duorarum*.

| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | | | |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Variable | BFT | | AC | |
| | Ración óptima | Ración tradicional | Ración óptima | Ración tradicional |
| Peso inicial (g) | 1.7±0.1 | 1.8±0.2 | 2.4±1.1 | 2.5±0.7 |
| Peso final (g) | 5.0±0.5 | 4.4±0.7 | 4.0±0.7 | 4.2±0.9 |
| Ganancia de peso (g) | 3.2±0.5** | 2.7±0.7** | 1.6±0.7* | 1.7±0.6* |
| Ganancia de peso/semana (g) | 0.4±0.1 | 0.3±0.5 | 0.2±0.1 | 0.2±0.07 |
| Biomasa (g) | 24.6±0.1 | 22.2±0.7 | 19.9±0.6 | 20.9±0.9 |
| Supervivencia % | 62.9±7.8 | 68.6±18.6 | 65.7±7.8 | 71.4±0 |
| FAC | 1.3±0.1 ^b | 2.0±0.2 ^a | 1.5±0.5 ^b | 2.1±0.5 ^a |

Número de asteriscos en el súper índice indica diferencias en sistema de cultivo, como factor principal y Letras diferentes en el súper índice indica diferencias en la ración, como factor principal

En la Tabla 22 podemos observar la ganancia de peso, peso final y peso inicial su variabilidad y comparación en cada uno de los tratamientos que se le aplicaron a los organismos de *F. duorarum*.

El análisis bifactorial mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), en la variable ganancia en peso, en el factor de sistema de cultivo, mientras que el factor ración no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) ni en su interacción. Los mejores valores de tasa de crecimiento se presentaron ambos en el sistema de BFT (0.39 g/semana), mientras que los valores menores se dieron para los organismos cultivados en AC (0.19 g/semana).

Para la supervivencia no se presentaron diferencias significativas entre ninguna de las interacciones ($p > 0.05$).

El FCA presentó diferencias significativas entre las raciones ($p < 0.05$) que se dispusieron a nivel experimental.

En cuanto a la biomasa no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las interacciones analizadas con un valor de $p > 0.05$.

El crecimiento de los organismos presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), sin embargo, en ninguno de los dos tratamientos se presentaron diferencias significativas entre ración óptima y tradicional (prueba de turkey $p > 0.05$, Tabla 23).

Tabla 23. Valor de crecimiento para *F. duorarum* en los cuatro tratamientos con su respectiva desviación estándar.

| <i>F. duorarum</i> | | | | | | | |
|-----------------------|------------|-------------------|------------|------------------------|------------|-------------------|------------|
| <i>AC^a</i> | | | | <i>BFT^b</i> | | | |
| Tradicional | | Optima | | Tradicional | | Optima | |
| promedio | desviación | promedio | desviación | promedio | desviación | promedio | desviación |
| 0.291 ^a | 0.11 | 0.29 ^b | 0.14 | 0.49 ^a | 0.11 | 0.56 ^b | 0.08 |

Los superíndices con letras distintas (a y b) indican diferencias significativas $P \leq (0.05)$

- **Factor de conversión alimenticia**

Se obtuvo para los cuatro tratamientos en la especie *F. duorarum* en el caso de las raciones óptimas en BFT y agua clara 1.34 y 1.50 respectivamente y en la ración tradicional 2.03 y 2.11 como se puede ver en la Tabla 9 cumpliendo con la disminución en gasto de alimento comercial que se quiere demostrar con la ración óptima.

- **Indicadores fisiológicos**

- **Consumo de oxígeno**

Como se menciona anteriormente en los resultados del experimento uno la variación del consumo de oxígeno debido a las características del sistema nos llevó a realizar el análisis de series de tiempo para cada una de las corridas y características de los tratamientos.

Tabla 24. Consumo de oxígeno de cada una de las cámaras en Joule por número de hora por cámara en cada uno de los tratamientos para *F. duorarum*.

| cámara | consumo de oxígeno en joule/número de horas/cámara | | | |
|--------|--|-----------------------|------------------|-----------------------|
| | <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | | |
| | AC | | BFT | |
| | Ración óptima | Ración tradicional | Ración óptima | Ración tradicional |
| 1 | 253.5 | 264.3 | 331.2 | 412.8 |
| 2 | 183.3 | 151.9 | 193.7 | 238.1 |
| 3 | 320.0 | 246.8 | 326.3 | 559.5 |
| 4 | 262.9 | 134.6 | 211 | 323.8 |
| 5 | 129.1 | 129.0 | 305.2 | 286.1 |
| 6 | 281.7 | 257.9 | 435.5 | 573 |
| 7 | 261.1 | 126.1 | 203.6 | 378.8 |
| 8 | 386.3 | 94 | 323.0 | 164 |
| 9 | 236.7 | 123.8 | 138.5 | 296.7 |

- FEO's de las integrales de cada corrida

DAO

El porcentaje de varianza del modo más energético capturó 37.92% de la energía total, este modo exhibe una tendencia positiva. Estas gráficas se obtuvieron calculando la integral del consumo de oxígeno usando la regla de Simpson, y de esta manera se obtuvo el consumo total en joules por cámara en el tratamiento de agua clara con ración óptima la cual correspondió a 259.63 J día⁻¹ (Figura 30)

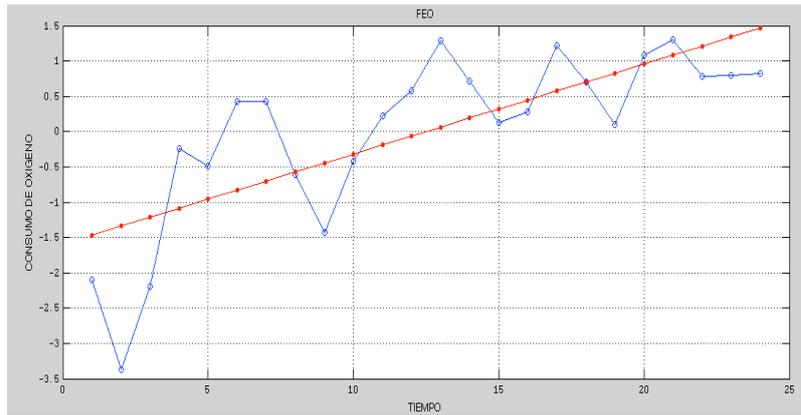


Figura 30. Funcion empírica ortogonal de la integral DAO para obtención de costo energético en respiración

DBO

El porcentaje de varianza fue de 39.57% presenta una tendencia positiva, a estas gráficas se les calculó la integral con el método del trapecio y de esta manera se obtuvo el consumo total de energía en joule por cámara en el tratamiento de BFT con ración óptima al cual correspondió un promedio de los nueve valores de $269.48 \text{ J día}^{-1}$ (Figura 31)

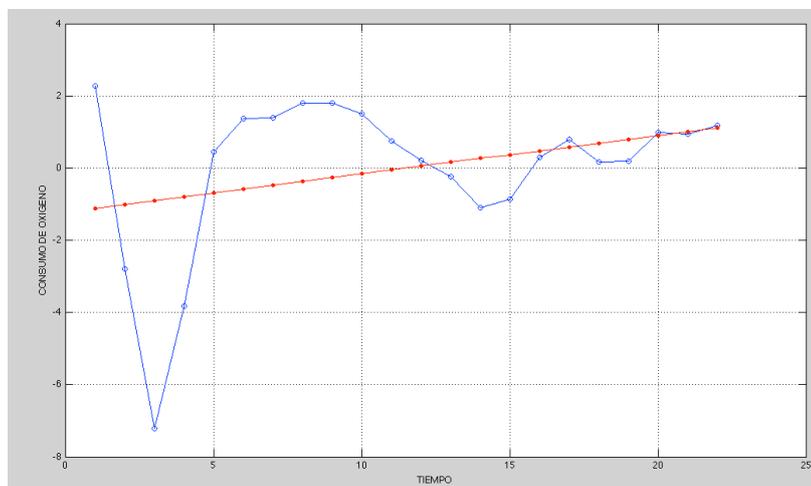


Figura 31. Funcion empírica ortogonal de la integral DBO para obtención de costo energético en respiración

DAT

El porcentaje de varianza del modo más energético capturó 50.82% de la energía total, este modo exhibe una tendencia negativa. Estas gráficas se obtuvieron calculando la integral del consumo de oxígeno usando la regla de Simpson, y de esta manera se

obtuvo el consumo total en joules por cámara en el tratamiento de agua clara con ración óptima la cual correspondió a $144.23 \text{ J día}^{-1}$ (Figura 32)

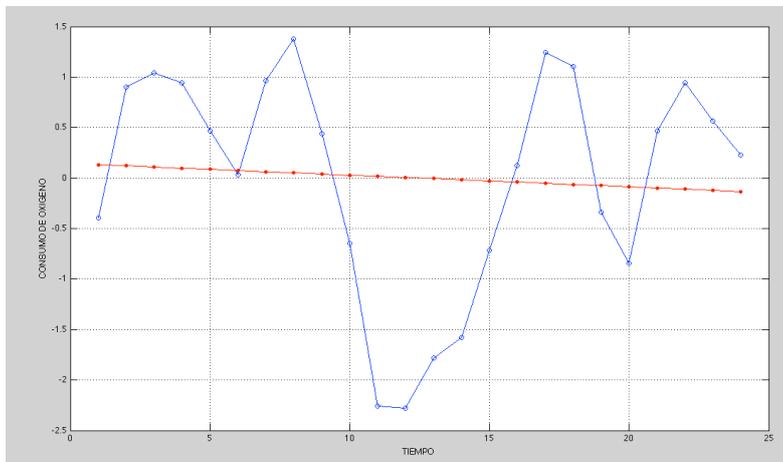


Figura 32. Funcion empírica ortogonal de la integral DAT para obtención de costo energético en respiración

DBT

El porcentaje de varianza fue de 49.14 % presenta una tendencia positiva, a estas gráficas se les calculó la integral con el método del trapecio y de esta manera se obtuvo el consumo total de energía en Joule por cámara en el tratamiento de BFT con ración óptima al cual correspondió un promedio de los nueve valores de $337.05 \text{ J día}^{-1}$ (Figura 33).

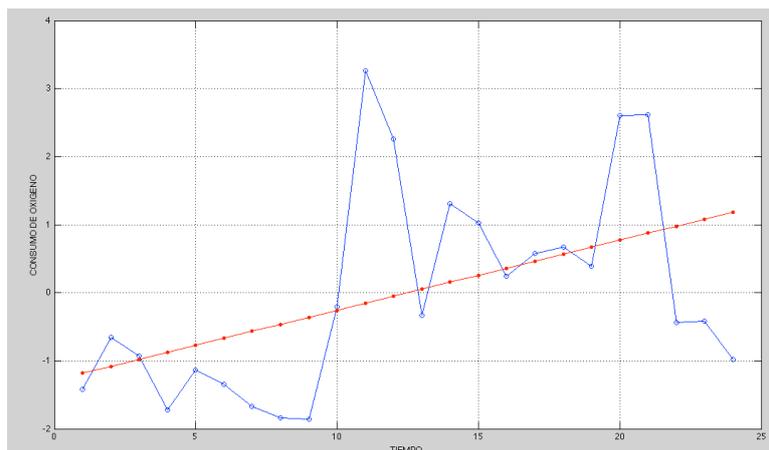


Figura 33. Funcion empírica ortogonal de la integral DBT para obtención de costo energético en respiración

Balance bioenergético

Para determinar la distribución de energía en los cuatro tratamientos que se llevaron a cabo se realizó el balance energético y se aplicó un análisis bifactorial. Mostrándonos que en ninguno de los dos sistemas BFT y AC hubo diferencias significativas entre los valores de energía digerida obtenidos para las dos raciones de alimento ofrecidas, sin embargo, en el caso de la energía retenida en respiración y excreción si hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) en el factor ración. de igual forma la energía retenida en crecimiento tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factor sistema de cultivo.

Tabla 25. Valores de balance energético por Joules por organismo por día para *F. duorarum* en los cuatro tratamientos

| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------|------------------|
| Tratamiento | RACION | E.R. (O ₂) | | E.NH ₃ | RE | |
| | | Valor ED | HeE+HiE | UE+ZE | RE | E _{EXV} |
| BFT | Tradicional | 1585.7 | 808.9 ^a | 126.5 ^b | 596.6* | 53.7 |
| BFT | optima | 1486.3 | 646.8 ^b | 118.8 ^a | 673.6** | 47.2 |
| AC | Tradicional | 1219.9 | 546.2 ^b | 95.4 ^b | 714.1* | 64.3 |
| AC | optima | 1430.6 | 623.1 ^a | 113.4 ^a | 636.8** | 57.3 |

Número de asteriscos en el súper índice indica diferencias en sistema de cultivo, como factor principal, Letras diferentes en el súper índice indican diferencias en la ración, como factor principal

Número de asteriscos en el súper índice indica diferencias en sistema de cultivo, como factor principal

En el caso del balance bioenergetico que se realizó para estos cuatro tratamientos, hubo una propabilidad normal y homogeneidad de varianza.

Solo se presentaron diferencias significativas con un valor de $p < 0.05$, en el caso de la energía digerida y exuvia en la interacción entre raciones de los dos sistemas de producción.

- **Eficiencia energética**

Al relativizar el cálculo de uso de las eficiencias el valor del activo de estos parámetros, la eficiencia de absorción como la asimilación no mostraron diferencias significativas en ninguno de los factores de análisis ($P > 0.05$) al igual que la proporción de energía canalizada para el crecimiento.

Tabla 26. Eficiencia de la energía asimilada y absorbida para *F. duorarum* en los cuatro tratamientos.

| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | | | | |
|---------------------------------|-------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tratamiento | Ración | energía absorbida | energía de asimilación | eficiencia de absorción | eficiencia de asimilación |
| AC | Tradicional | 1164.5 ^{a*} | 1121.6 ^{a*} | 92.0 ^{a*} | 88.6 ^{a*} |
| AC | Óptima | 1292.2 ^{a*} | 1205.0 ^{a*} | 92 ^{a*} | 86.2 ^{a*} |
| BFT | Tradicional | 991.5 ^{b*} | 955.7 ^{b*} | 92.4 ^{b*} | 89.1 ^{b*} |
| BFT | Óptima | 1401.9 ^{b*} | 1265 ^{b*} | 92 ^{b*} | 84.1 ^{b*} |

Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal sistema de cultivo. Número de asteriscos en el superíndice indican diferencias significativas para el factor principal ración.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Analizada la fase experimental, se procedió a describir los resultados bioeconómicos para la producción de camarón rosado del golfo de México (*F. duorarum*), en fase de engorda. En una primera parte se presentan los resultados de la modelación del crecimiento, que posteriormente se utilizaron en la fase del sub-modelo biológico para estudiar la gestión óptima en cada uno de los sistemas de cultivo (BFT y AC). Y por último se realizó la modelación bioeconómica para cada uno de los sistemas con los parámetros críticos de cada uno.

- **Modelación de crecimiento**

Para realizar el análisis bioeconómico fue necesario establecer el modelo de crecimiento más adecuado para el desarrollo y ajuste de los datos observados durante el experimento, en este caso se utilizó la ecuación de Gompertz, debido a que fue el modelo de crecimiento que más se ajustó a la especie.

En esta sección se describen los resultados de la ecuación de crecimiento (Gompertz) que se aplicó. Esto con el objetivo de definir los parámetros de la función matemática que mejor simulan la trayectoria de crecimiento y con él los resultados bioeconómicos. Esta elección se realizó por medio de la significancia de los parámetros, la validación y simulación de las curvas de crecimiento desde el periodo $t=0$ a $t=160$.

- **Validación y simulación**

La ecuación de crecimiento Gompertz demostró representar el incremento en peso de los camarones en los dos sistemas de cultivo desde el periodo $t=0$ hasta el $t=160$ días de cosecha. En la Tabla 28 Podemos ver los resultados de validación. Se corroboró la veracidad del modelo a través del estadístico U de Theil, que confirmó el ajuste de los datos observados vs. Los modelados para los dos sistemas generando con precisión las observaciones de peso para cada uno. En los sistemas de cultivo los valores de U de Theil fueron menores al valor crítico de 0.2 (Power, 1993 en Aramburu, 2011) de 0.000510 para agua clara y 0.056 para BFT, y presentando valores bajos en la media y en la varianza.

Tabla 27. Ajuste del modelo de crecimiento Gompertz para *F. duorarum* con su respectiva estadística de validación para los dos tratamientos.

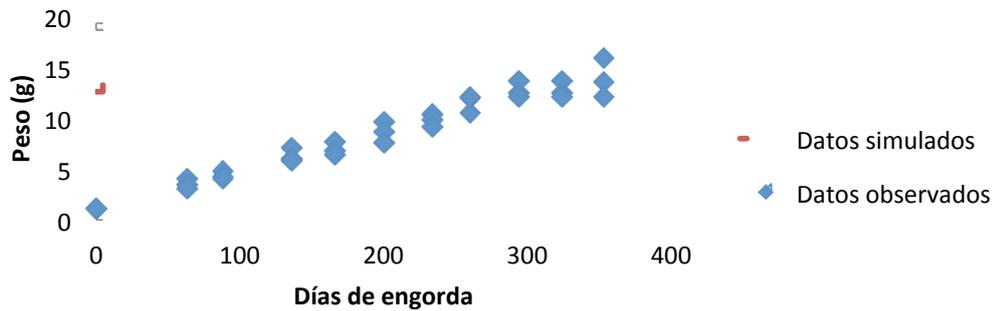
| PARAMETROS DE SIMULACIÓN | <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | TRATAMIENTO BFT | TRATAMIENTO AGUA CLARA |
| CRECIMIENTO | | |
| W_{∞} | 17.2 | 18.8 |
| α_0 | 145.3 | 154.7 |
| B | 0.006 | 0.006 |
| ESTADÍSTICAS DE VALIDACIÓN | | |
| U DE THEIL | 0.04 | 0.04 |
| U_m | 0.02 | 4.1E-05 |
| U_s | 0.01 | 0.01 |
| U_c | 1.02 | 1.02 |

- **Ajuste del modelo de crecimiento**

Se aplicó la ecuación de Gompertz para ajustar el modelo de crecimiento de la especie *F. duorarum* en los tratamientos de agua clara y BFT, validando este ajuste a través de el estadístico U de Theil, obteniendo valores de 0.42 y 0.04 respectivamente.

En la Figura 34 podemos observar la evolución que tuvo el crecimiento y el ajuste de los datos simulados y observados para el sistema de BFT y AC. La línea continua representó el peso promedio de los datos simulados de los organismos y los rombos azules, las observaciones de los pesos obtenidos de los organismos a nivel experimental. A través del tiempo, el modelo simuló adecuadamente un peso (g) de acuerdo al sistema de cultivo en el cual se estaban desarrollando los organismos. Al final del cultivo los organismos de *F. duorarum* cultivados en el sistema de BFT tuvieron un peso promedio simulado de 14.22 g y 13.35 g para AC

Ajuste Modelo de crecimiento BFT



Ajuste modelo de crecimiento AC

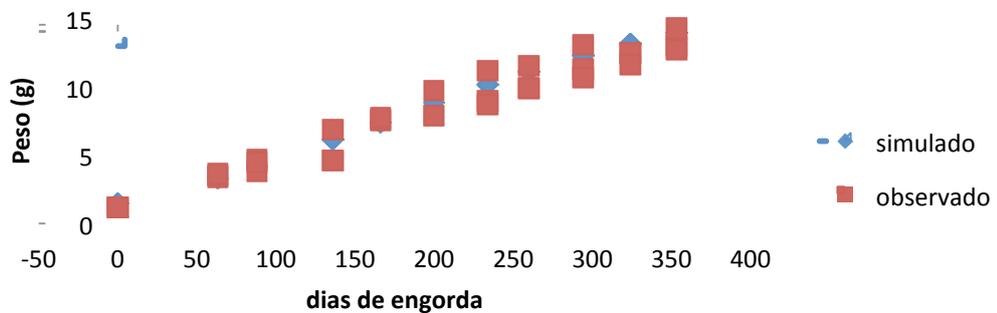


Figura 34. Ajuste del modelo de crecimiento en el sistema de biofloc de la especie *F. duorarum* (contraste de datos observados versus los simulados).

Los datos simulados y observados de la especie *F. duorarum* a través de la ecuación de Gompertz se ajustaron de una manera adecuada como se puede observar en las gráficas anteriores de los dos sistemas

- **Validación y análisis costo-beneficio**

En las Tablas 28 y 29 podemos observar los diferentes datos de costos y gastos de producción para la especie *F. duorarum* en el sistema de BFT, esto para así posteriormente realizar el análisis de validación, simulación y de costo beneficio.

Tabla 28. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el análisis de costo-beneficio en tratamiento biofloc de *F. duorarum*.

| TRATAMIENTO BFT | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------|
| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | |
| PARAMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
| Crecimiento | | |
| w infinito | | 17.22 |
| K | | 0.006 |
| t0 | | 145.3 |
| Mortalidad/sobrevivencia | | |
| Tasa de mortalidad (m) | | 0.001 |
| Organismos sembrados | Estanque | 750 |
| Financiero | | |
| Alimento | Ton | 12600 |
| Alimento | \$ saco 20 kilos (incluye flete) | 353 |
| Alimento | | 17.65 |
| PRECIO DE SEMILLA | \$ VIAJE/1000 juveniles | 120 |
| FCA | | 1.340 |
| Volumen tanque | m3 | 20 |
| Recambio semanal | % | 20 |
| Recambio diario | m3 | 0.6 |
| Gasto bomba | l/min | 350 |
| Operación diaria | Min | 1.9 |
| Bomba | Hp | 1 |
| Energía | watt hora/estanque | 93.75 |
| Costo E | \$ kw hora | 0.7 |
| Precio de venta | \$ / kilo | 100 |

Tabla 29. Variables tomadas en cuenta para desarrollar el análisis de costo-beneficio en tratamiento agua clara de *F. duorarum*.

| TRATAMIENTO AC | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------|
| <i>Farfantepenaeus duorarum</i> | | |
| PARAMETRO | UNIDAD MEDIDA | DE VALOR |
| Crecimiento | | Gompertz |
| w infinito | | 18.80 |
| K | | 0.006 |
| t0 | | 154.73 |
| Mortalidad/sobrevivencia | | |
| Tasa de mortalidad (m) | | 0.001 |
| Organismos sembrados | Estanque | 750 |
| Financiero | | |
| Alimento | Ton | 12,6 |
| Alimento | \$ saco 20 kilos (incluye flete) | 353 |
| Alimento | | \$17.65 |
| PRECIO DE SEMILLA | \$ VIAJE/1000 juveniles | 120 |
| FCA | | 1.508 |
| Volumen tanque | m ³ | 20 |
| Recambio diario | % | 20 |
| Recambio diario | m ³ | 4.000 |
| Gasto bomba | l/min | 350.000 |
| Operación diaria | Min | 75 |
| Bomba | Hp | 1.000 |
| Energía | watt hora/estanque | 93.750 |
| Costo E | \$ kw hora | 0.700 |
| Precio de venta | \$ / kilo | 100.00 |

Finalizando el proceso de validación, se procedió a estudiar económicamente el cultivo. Lo cual se llevó a cabo utilizando la técnica de simulación, esto con el objetivo de tener una mejor claridad del proceso en su conjunto (técnico-biológico y económico del cultivo). Por cada uno de los dos sistemas de cultivo se obtuvieron los principales resultados técnico-biológicos y económicos de un ciclo de cultivo en las densidades manejadas, bajo las condiciones y estanques utilizados. En las siguientes dos Tablas (dependiendo del sistema de cultivo) podemos observar todos los parámetros utilizados para llevar a cabo el estudio a más cabalidad.

En la siguiente Tabla 30, podemos observar que dentro de los parámetros de producción, la supervivencia más baja se obtuvo para los organismos bajo el sistema de cultivo AC con el 65 % siendo, mayor un 12% respecto a la supervivencia obtenida por BFT con un 53%. En cuanto a la biomasa total obtenida por estanque para los dos sistemas se mantuvo pareja. Lo cual los llevó a tener ingresos por venta bastante parecidos, con entradas de \$473.74 y \$378.42 para AC y BFT respectivamente.

Finalmente, el costo unitario de producción no fue tan similar como se esperaba con \$87 para los organismos cultivados en agua clara y \$56 para los cultivados con sistema de cultivo BFT por cada kilogramo producido. Con una diferencia del 25 % más altos los valores en los sistemas respectivamente. Alcanzándose para el sistema de BFT el precio ideal de venta propuesto.

En base a lo anterior, se obtuvo el beneficio neto para cada uno de los sistemas, presentando valores negativos en el caso de los dos sistemas de AC \$ -\$ 210.91 y \$-126.45 para el sistema de BFT.

Dentro de los costos de producción, el más alto que se presentó para los dos sistemas de cultivo, fue el del alimento balanceado siendo entre el 80 % y 72 % para AC y BFT respectivamente, esto sobre el total de costos de producción para cada uno; evidenciándose el mayor consumo de alimento balanceado en el sistema tradicional de agua clara con respecto a la representación de esta variable en el BFT.

La proporción costo beneficio obtenida para los dos sistemas se presentó con valores negativos en el caso del sistema de AC con un valor de \$0.67 y una proporción con un valor de \$0.74 para el sistema de BFT.

Así se hayan presentado resultados no tan alentadores en cuanto a la última relación, la cantidad de productividad por hectárea fue representativa comprándola con otros ciclos de producción, proyectándose una producción de 4075.39 kg/ha para el sistema de AC y 4624.04 kg/ha para el sistema de BFT.

Tabla 30. Resultados a corto plazo de la simulación técnico-biológica y económica para los tratamiento de BFT y AC de la especie de *F. duorarum*.

| Parámetro | Unidad | Especie | |
|---------------------------------|-----------------------|------------|-----------|
| | | AC | BFT |
| Parámetros de producción | | | |
| Tiempo de cultivo a cosecha | días | 353 | 353 |
| Cantidad sembrada | org | 750 | 750 |
| Talla de cosecha | g | 12.15 | 12.62 |
| Supervivencia | % | 64.92 | 52.68 |
| Biomasa total | Kg | 8 | 9.077 |
| Ingresos por venta | | | |
| Ingresos totales | \$ | 473.74 | 378.42 |
| Costos de operación | \$ | 697.15 | 504.87 |
| Costos de semilla | \$ | 120 | 120 |
| Costos de alimento | \$ | 216.4 | 160.21 |
| Costos de energía | \$ | 357 | 254.66 |
| Costos de melaza | \$ | - | 40.3 |
| Beneficio neto | \$ | -\$ 210.91 | -126.45 |
| Costo Beneficio | \$ | 0.67 | 0.74 |
| Costos unitarios | \$ | 87.14 | 55.62 |
| Productividad | Kg/ha | 4075.39 | 4624.04 |
| Productividad por alimento | kg/unidad de alimento | 0.36 | 0.41 |
| Costo de operación | \$/ha | 355145.18 | 257193.43 |
| Alimento necesario | Kg A/Kg c | 2.7 | 2.39 |
| Fertilizante necesario | Kg F/ Kg c | | 4.43 |
| Alimento por ha | Kg A/ ha | 6238.41 | 4624.04 |
| Fertilizante por ha | Kg F/ ha | - | depende |

Capitulo 5

- **DISCUSION**
- **CONCLUSIONES**
- **RECOMENDACIONES**

DISCUSION

Si hay una reducción de costos en los gastos de producción relacionados con la disminución de suministro de alimento en los camarones de ambas especies cultivadas en el sistema de biofloc tecnología (BFT), y dicho sistema permitió generar el análisis costo-beneficio para las dos especies de camarón (*L. vannamei* y *F. duorarum*) con respecto al sistema tradicional

Al comparar los balances bioenergéticos de *F. duorarum* y *L. vannamei* en sistemas de biofloc y de agua clara se puede evidenciar que no se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a la energía retenida para crecimiento. Por el contrario, sí se presentaron diferencias significativas en la distribución de energía digerible; lo cual confirma que la especie, bajo condición de BFT de cultivo, presenta una estrategia diferente de distribución de energía.

Parámetros fisicoquímicos

La temperatura estuvo dentro de los rangos óptimos (20°-32°C) de crecimiento y sobrevivencia de los camarones peneidos propuestos por Reynolds et. al. (1979), Fenucci (1988), Wasielesky et al. (2006a) y Browder et al. (2009) y sin embargo, se evidenció que los camarones en los experimentos uno para las dos especies presentaron mejor crecimiento cuando las temperaturas se encontraron alrededor de los 30°C. Este resultado es comparable al obtenido para *F. duorarum* por Reynolds (1979). No obstante, en los presentes experimentos las dos especies demostraron una mayor resistencia durante los periodos con menor temperatura, 23.2°C y 21.8°C para agua clara y BFT respectivamente, observado igualmente en la Laguna Madre de Tamaulipas donde la especie *F. duorarum* se desarrolla dentro de un rango de temperaturas de 20–21.6°C (Pérez-Castañeda, 2009) y *L. vannamei* en varios experimentos como el de Ray et al, (2010) con temperaturas hasta de 21.4°C, en el caso de las dos especies se pudo observar que cuando se superaron las más bajas temperaturas en los cuatro experimentos el crecimiento y ganancia de peso empezó a aumentar. Por lo tanto, la temperatura es uno de los factores más influyentes en la supervivencia y crecimiento de los peneidos, lo cual se reafirma con la investigación realizada con *L. schmitti* en la ciénaga Los Olivitos de Venezuela (Sangronis et al, 2002). Durante los meses de temperatura más altos (julio-septiembre), con 28.9 y 28.3°C las más altas para agua clara y BFT respectivamente, no se presentaron diferencias significativas en cuanto al crecimiento en los dos tratamientos. Es

importante mencionar que en el experimento dos las taras mantuvieron un promedio de temperatura de 26°C para las dos especies en los dos tratamientos debido al control que se mantuvo por la estrategia de desarrollo de este dentro del invernadero.

La salinidad, por el contrario, presentó un rango de valores más alto para el BFT (37.4-41) con respecto al de agua clara (37.7-40.2), manteniéndose dentro de los rangos óptimos de salinidad para las especies de peneidos (34-45) propuestos por Pérez-Castañeda (2009). La causa de presentar valores más altos para el BFT es probablemente la baja renovación de agua y evaporación de ésta, lo que, de igual forma, es resultado de estudios realizados para *F. paulensis* por Wasielesky (2000) y Emerenciano (2007) y para la especie *F. duorarum* por Dixon y Whitney (2002). Los organismos de *L. vannamei* exponiendo nuevamente como en experimentos anteriores su capacidad de crecer con rangos de salinidades variado (Audelo-Naranjo et al., 2010 y Kuhn et al., 2010). Las salinidades más bajas para los dos tratamientos se presentaron en temporada de lluvias, lo cual corrobora la hipótesis de López-Téllez (2000) sobre la lluvia como causante de la disminución de la salinidad, esto teniéndolo en cuenta para el experimento uno que se realizó en estanqueras externas. En los experimentos dos para las dos especies se mantuvo un rango promedio controlado de salinidad durante todo el tiempo de producción de 36.0-37.0

El rango óptimo de concentración de oxígeno para la especie *F. duorarum* es de 5.5-7.1 mg/L, según Pérez-Castañeda (2009), el cual se mantuvo durante todo el periodo de experimento 1 con una variación entre 5.6-7.6 mg/L para agua clara y 5.5-7.4 mg/L para BFT, en el experimento dos se mantuvieron concentraciones de oxígeno más controladas con un promedio de 6.7 mg/L durante todo el experimento para las dos especies. En el experimento uno *L. vannamei* tuvo rangos de oxígeno entre los 4.3-5.1 mg/L estando al igual que la otra especie dentro de los aceptados.

Aunque en trabajos realizados por Sangrionis et al (2002) se evidenció que los camarones peneidos soportan bajas concentraciones de oxígeno se debe tener en cuenta que el sistema de BFT demanda una aireación constante y más intensa que en los cultivos tradicionales, para la supervivencia y manutención de los microorganismos presentes en el agua (Cuzon comunicación personal; Avnimelech 1999; Wasielesky 2006b; Emerenciano 2007).

En relación al pH, el tratamiento BFT para *F. duorarum* tuvo valores promedios más bajos (7.3-8.8) durante el periodo del experimento 1 a diferencia del agua clara (7.5-

8.6). Este evento fue probablemente causado por la respiración de la microbiota e individuos presentes en el agua, incrementando el CO₂ en el medio y disminuyendo el pH, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Tacon et. al. (2002), Wasielesky et. al. (2006b) y Emerenciano (2007). Es importante mencionar que en el mes de agosto el BFT tuvo un mayor valor (8.8) debido a la alta concentración de partículas en suspensión de este sistema. A pesar de esto, los valores se encuentran dentro de los niveles de tolerancia para camarones peneídos (Wickins, 1976; Van Wyk y Scarpa, 1999). Igual en el caso del camarón blanco del pacífico con valores entre 8.58-8.64. durante el experimento dos para las dos especies se mantuvo un pH constante de 7.8-8.0 durante todo el experimento.

Las concentraciones de amonio se mantuvieron para los dos tratamientos en un rango de 0.2-0.6 ppm y se presentaron dentro de los rangos óptimos propuestos por Pérez de Noguera et. al. (1995). El nitrito se mantuvo en 0.2-0.6 ppm para agua clara y 0.1-0.6 ppm para BFT, lo cual indica que están dentro de los rangos óptimos propuestos por Pérez De Noguera et. al. (1995). El nitrato presentó diferencias significativas entre los dos tratamientos en el experimento 1, con un rango de variación de 7.0-20 ppm para BFT y de 5.6-10 ppm para agua clara. Según Avnimelech (2007), esto es debido a la presencia de microbiota en el cultivo de BFT que permite que haya un proceso de nitrificación, obteniendo un aumento en la concentración de nitratos que sirven como alimento para las microalgas presentes en el sistema; esto permite mayor disponibilidad de alimento vivo o microorganismos para los camarones (Wasielesky et. Al., 2006b; Avnimelech 2007). Cabe resaltar que en los experimentos dos de las dos especies las concentraciones se mantuvieron dentro de los rangos propuestos para las especies y que al igual que en el anterior la concentración de nitratos fue mayor en el sistema de BFT. Y los valores se asemejaron a los obtenidos en otros experimentos como el de Ray et al., (2010b) con la especie *L. vannamei* con promedio de concentración de amonio de 0.4 ppm, 0.5 para los nitritos.

Los valores promedio referentes al volumen del floc en el periodo del experimento 1 fue de 5.3 ml/L mínimo y 10 ml/L el máximo. En el mes de julio hubo un aumento significativo en la concentración de partículas suspendidas (hasta 17 ml/L) debido posiblemente al aumento de temperaturas y consecuente metabolismo de los organismos, lo cual generó acumulación de éstas en las branquias de los individuos siendo, probablemente, un factor influyente en el crecimiento y supervivencia de los camarones, como también se presentó en estudios anteriores realizados por Avnimelech (1999), Wasielesky (2006a) Emerenciano (2009) y Ray et al. (2010). No

obstante, para evitar el suceso del primer experimento y al tener un sistema central de abastecimiento de BFT (mesocosmos) para las dos especies durante el experimento dos se mantuvo un volumen constante promedio de BFT de 6.69 ml/L, permitiéndonos tener un mayor control de los sólidos suspendidos en el agua y las concentraciones de amonio y nitritos en el agua, cabe resaltar por último que ninguno de los valores de los parámetros ambientales obtenidos en el experimento fueron letales para ninguna de las dos especies de camarones peneidos (Wasielisky et al., 2006b).

Zootecnia

En los experimentos iniciales (experimento 1) para las dos especies (*F. duorarum* y *L. vannamei*) no se presentaron diferencias significativas en los dos sistemas en crecimiento, ganancia de peso y peso final al comparar los resultados obtenidos en agua clara y BFT, lo cual se ha podido evidenciar también en trabajos como el de Emerenciano (2007) y Ballester et. al. (2007) con la especie *F. paulensis*. y Según Pérez –Castañeda et. al. (2005), quien realizó un estudio con especie *F. duorarum* en la Bahía de Florida. Evidenciándose también en la especie *L. vannamei* en los estudios realizados por Samocha et al., (2007) y Ju et al., (2008)

De igual forma, en los experimentos dos para la especie *L. vannamei* y para la especie *F. duorarum* en cuanto a crecimiento, no hubo diferencias entre raciones pero si se presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos $p < 0.05$ analizados.

En el caso de la supervivencia no se presentaron diferencias significativas entre raciones y sistemas para la especie *F. duorarum*, sin embargo, para el camarón blanco del pacífico se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la supervivencia entre sistemas, presentando mayores valores (88.6% y 85.7% en ración tradicional y óptima respectivamente) el sistema de BFT corroborando el incremento de supervivencia que se ha observado en sistemas de recambio limitado de agua como los del centro de Maricultura Waddell en Carolina del Sur (Mc Abee et al., 2003)

Los parámetros ambientales y nutricionales pueden influir en la calidad, crecimiento y desempeño de los camarones; por ende, se mantuvo un seguimiento de estos durante el desarrollo de los experimentos de manera intensiva.

FCA

En relación a la alimentación y nutrición, los camarones tuvieron disponibilidad de alimento comercial, con un 35% de proteína cruda (PC), en 5 raciones cerradas diarias

en los dos sistemas de cultivo para cada una de las especies en el experimento 1 teniendo una ración tradicional con un FCA de 3. Se debe tener en cuenta que el cultivo BFT contiene proteína nativa (Azim et al, 2008), como se mencionó antes, que sirve como alimento sustituto y adicional para los organismos cultivados que en el caso del sistema para *F. duorarum*, contenía 22.65% de proteína cruda. Valor que se aproxima a los presentados por Mc Intosh et al (2000), Tacon (2002), Soares et al (2004), Wasielesky et al (2006b) y Emerenciano (2007), demostrando el potencial de los floculos microbianos y su valor nutricional en el cultivo de camarón. Diversos autores como Mc Intosh et al (2000), Browdy et al (2001), Tacon et al (2002), Moss (2002), Mc Abee et al (2003), Samocha et al (2004) y Wasielesky (2006b) han demostrado el planteamiento anterior, principalmente, con la especie *L. vannamei*.

Cabe resaltar que al obtener los resultados de los análisis de bioenergética de los organismos del experimento uno se logró obtener una ración óptima basada en un FCA de 1.3 para el BFT de *L. vannamei* y 1.5 para *F. duorarum* y se comparó con una ración tradicional de un FCA de 2 para las dos especies. Corroborando que se logra disminuir la cantidad ofertada de alimento comercial. Esto corroborándose acorde a experimentos realizados por Ju et al., (2008) donde se trabajó con FCA de 2-4.49, Wasielesky et al., (2006b) donde los resultados de FCA fueron mayores en agua clara que en sistemas de recambio limitado de agua.

Como resultado de lo anterior en el caso de los experimentos realizados por Khun (2008), los individuos cultivados en BFT presentaron un mayor crecimiento cuando su dieta alimenticia se basaba en alimento comercial y Biofloc. De igual forma, Burford et al. (2008) determinaron que más del 29% del alimento consumido por *L. vannamei* es proveniente de la proteína natural (Biofloc). No obstante, otros autores han coincidido con que la concentración y disponibilidad de proteína extra en el medio de cultivo permite un mayor crecimiento (Gauquellin et al., 2007) con *L. stylirostris*. Tau (2008) evidenció lo anterior en *L. vannamei* con experimentos realizados en Indonesia, en donde la tasa de conversión alimentaria (TCA) bajó a 1.11-1.12 con Biofloc y en cultivos tradicionales generalmente es 1.60.

Por otra parte, el biofloc es una fuente de aminoácidos libres (Gaxiola et al., 2010) que incrementa el consumo de alimento de los animales y busca un mejor equilibrio en el balance de aminoácidos circulantes (pool aminoácidos), que constituye un requisito previo para la síntesis proteica óptima. Además, cualquier factor limitante en el

alimento balanceado podría ser minimizado por el aporte de las fuentes de proteína nativa que hacen parte de la composición del floc (Gaxiola et al.,2010).



Figura 35. Ejemplares de *F. duorarum*

Bioenergética

Debido a que la tasa de crecimiento de *L. vannamei* es más elevada (1g/semana) respecto a la obtenida por *F. duorarum* (Arbeláez, 2010) se obtuvo que el rendimiento fisiológico de *L. vannamei* fue mejor que el de *F. duorarum* tanto en el sistema tradicional como en el sistema de biofloc technology (BFT).

En el experimento 1 se realizó un contraste del análisis bioenergético entre el sistema de cultivo tradicional (agua clara) y BFT durante el ciclo nocturno, ya que éstas son las horas donde presenta mayor actividad la especie *F. duorarum* (Reynolds et. al. (1979) y Pérez-Castañeda et. al. 2005). Para esta misma especie en el segundo experimento se realizaron 4 corridas de ciclos circadianos (uno para cada tratamiento Tabla 1) y a través de un balance y análisis bioenergético, por medio de la técnica de respirometría, se pudieron obtener valores de energía retenida en crecimiento, energía digerible, excreción de amonio, energía de exuvia y energía utilizada para la respiración, utilizando el factor de conversión de 14.6 KJ/g para contrastar los resultados. Esto mismo igual se llevó a cabo para la especie *L. vannamei* en el experimento uno con dos corridas de ciclo circadiano y en el experimento dos se realizaron las 4 corridas para cada uno de los tratamientos (Tabla 1). Con el fin de realizar el análisis de las estrategias de distribución de energía.

La estrategia de distribución de energía en los dos sistemas de cultivo comparados presentó diferencias en cuanto a los valores de energía digerible en los dos experimentos con valores de 2.6 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT ración tradicional *L. vannamei*, 2.4 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT ración óptima *L. vannamei*, 3.3 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para agua clara ración tradicional *L. vannamei*, 2.4 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para agua clara ración óptima *L. vannamei*, 1.6 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT ración tradicional *F. duorarum*, 1.5 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para BFT ración óptima *F. duorarum*, 1.2 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para agua clara ración tradicional *F. duorarum*, 1.4 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ para agua clara ración óptima *F. duorarum*). Esto corrobora que la proteína nativa proveniente del bifloc es más digestible que la dieta comercial, este es un punto importante para determinar las estrategias de alimentación debido a que el ritmo de asimilación es diferente según las características de la dieta (Mc Intosh et al, 2000). Si dicha diferencia se transforma en cantidad de alimento quiere decir que se va a presentar un menor gasto económico (Avnimelech et al, 1999; Wasielesky, 2006b; Crab, 2007 y Emerenciano, 2007), lo cual se puede corroborar con la comparación de resultados en la energía digerida obtenida como resultado en las dos especies en el sistema de BFT con ración óptima. Esta percepción mencionada tiene como resultado práctico una repercusión extremadamente importante para la acuicultura actual. Ya que como se ha venido observando en las últimas décadas la necesidad de alimento acuícola ha continuado en ascenso, con crecimientos anuales de alrededor del 7% (Jackson, 2012). Lo cual dio lugar a que la FAO (2012) declarara “que la sostenibilidad del sector acuícola estará estrechamente vinculada con el suministro de proteínas animales y vegetales así como aceites y carbohidratos para la producción acuícola”. Y al implementar sistemas que nos permitan reducir la inclusión de dichas fuentes de proteína no solo se reducirán los gastos en insumos para alimento comercial en las granjas, sino que también pueden formar parte como lo demuestra Kuhn et al., (2010) de las proteínas incorporadas en las dietas comerciales. De igual manera con esto podemos dar bases y fundamentos para que los impactos ambientales generados por la industria acuícola sean reducidos, disminuyendo así la explotación de recursos marinos y dando alternativas de alimentos complementarios.

En el caso de *F. duorarum* y *L. vannamei*, la excreción amoniacal también presentó diferencias (ver anexo 9), debido a que se realiza mayor uso de la proteína obtenida por los organismos en BFT que la de la dieta comercial. Lo cual se ha evidenciado en experimentos realizados con especies de camarones peneidos, como es el caso de Pascual (2004) con *L. vannamei*, donde se presentaron valores menores de excreción

amoniacal cuando había mayor disponibilidad de proteína animal. Esto lo corrobora y describe Gauquellin et al (2007) con la aLura del pico de excreción de amonio al decir que está directamente relacionada con la cantidad de ingesta de proteínas, que en nuestras condiciones de experimentación fue mayor en el caso del Biofloc en comparación con el agua clara.

A causa de la disponibilidad constante de alimento se llegó a pensar que el crecimiento en los individuos cultivados en el sistema BFT iba a ser significativamente mayor con respecto a los individuos cultivados en el sistema de agua clara, sin embargo, los valores obtenidos en energía retenida en crecimiento no presentaron diferencias significativas (ver anexo 9). No obstante, en trabajos como el de Valenzuela (2009) sí se observaron diferencias en el crecimiento de los individuos.

El consumo de oxígeno, medido para realizar la estimación del incremento de calor de la alimentación (ICA), fue un indicador muy útil para los dos primeros experimentos de cada una de las especies debido a que en el caso del cultivo de agua clara, solo estaba la contribución de alimentos balanceados y el pico del ICA fue relativamente fácil medirlo, como se puede observar en trabajos como los de Pascual (2004), Ocampo (2000) y Maldonado et al (2009). Pero en el caso del BFT se presentó el inconveniente de no generarse un pico con el ICA, debido al suministro y disponibilidad constante de alimento en el sistema, lo cual se puede corroborar en experimentos como el de Valenzuela (2009), por esta razón, el camarón presenta constantemente activos los procesos digestivos y los procesos para la síntesis de nuevos tejidos (Cuzon comunicación personal) sin necesidad de hacer énfasis en momentos específicos del ciclo de alimentación y presentar incrementos abruptos en los consumos de energía, como es el caso de los organismos que se cultivan en sistema de agua clara, y como consecuencia de esto la energía utilizada para la respiración es menor. En estos casos el cultivo BFT para *F. duorarum* realizó un gasto de 567.8 J/camarón/día y agua clara 1324.6 J/camarón/día y para *L. vannamei* se realizó un gasto de 3062 J/camarón/día para agua clara y 1430 J/camarón/día para BFT. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Rosas et al (1995) en las especies *F. setiferus*, *F. Schmitti*, *F. duorarum*, y *F. notialis*, en donde los individuos con alimento continuo consumieron menor oxígeno y, por ende, tuvieron un menor gasto de energía en la alimentación y obtuvieron mayor eficiencia (Sumule et al. 2003).

La comparación del análisis bioenergético de los dos sistemas de cultivo en los dos experimentos realizados para cada una de las especies nos demuestran que hay un

gran impacto causado por el sistema de cultivo en los procesos metabólicos de los camarones. Evidenciando los beneficios del BFT a nivel nutricional, principalmente gracias a la disponibilidad de alimento constante en el medio de cultivo, mejorando el metabolismo de los individuos cultivados, y como consecuencia se aumenta la síntesis de proteínas haciendo aportes en un posible crecimiento extra de los organismos.

Aunque hay una gran cantidad de factores y motivos por los cuales la estrategia de distribución de energía es diferente en los dos sistemas, se pueden mencionar algunos como: diferencia en la calidad del agua, cantidad de alimento disponible y contribución del alimento vivo *versus* alimento comercial para la ganancia de peso del camarón como lo podemos evidenciar en los resultados del experimento dos para las dos especies. También esto último se puede evidenciar en estudios realizados por Brito et al. (2004) en *L. vannamei* y *L. setiferus*, en donde la estrategia de distribución de energía es diferente cuando se presentan diferentes dietas. Esto es difícil de conseguir en términos de impacto cuantitativo, pero en especies como *L. vannamei* y *L. stylirostris* se han realizado experimentos que presentaron evidencias de un mejor y mayor crecimiento en sistemas de cultivo BFT (Cuzon et al, 2004). También en estudios realizados en *L. setiferus*, según Rosas et al. (1999), se presentaron diferencias en la distribución de energía debido a la estrecha relación que hay entre los requerimientos de proteínas, la capacidad de cada especie para utilizar la energía y los parámetros ambientales en los que se desarrollaron los organismos.

En términos de crecimiento durante el experimento dos no se tuvieron diferencias significativas entre las dos raciones (óptima y tradicional) tanto para *F. duorarum* como para *L. vannamei* en los dos sistemas, sin embargo, si hubo diferencias de crecimiento en el factor sistema de cultivo. Corroborando que al disminuir la cantidad ofertada de alimento comercial en el sistema de BFT no se presenta ninguna afectación en la ganancia en peso que obtuvieron los organismos. Esto siendo un gran aliciente para seguir implementando este sistema debido a la disminución de insumos que se puede realizar.

Análisis costo-beneficio, El BFT como fuente de alimento

El biofloc es un conjunto de agregados que están constituidos por partículas que se conforman por algas, protozoos, bacterias y detritos (Hargreaves, 2006 y Khun, et al, 2010). Los cuales en el presente trabajo probaron que llegan a ser un suplemento nutricional, alimenticio y adicional de proteína nativa, para la dieta de los camarones,

lo anterior corrobora lo que se ha presentado en trabajos realizados por Mc Intosh et al (2000), Browdy et al. (2001), Tacon et al. (2002), Moss (2002), Mc Abee et al. (2003), Burford et al. 2004, Samocha et al. (2004); Wasielesky et al. (2006) y Ju et al. (2008). Siendo esta una ventaja ecológica muy importante ya que las dietas comerciales, están basadas en proteína obtenida de harinas de pescado o productos marinos extraídos del medio silvestre (Schryver, 2000 y Ray et al., 2010), que como consecuencia drástica y continua aporta a la sobrexplotación de la pesquería en el medio marino, y por ende, no es sustentable con el medio ambiente (Tacon et al., 2006 & Naylor et al., 2009). Este hecho hace más susceptible el cultivo tradicional a la introducción de agentes contaminantes, lo cual disminuye la bioseguridad del sistema, y aumenta los costos de producción.

La microbiota del biofloc y las bacterias nitrificantes, permite que haya mayor control de calidad del agua, debido a la retención constante de los residuos nitrogenados. Estos residuos ahora fueron convertidos en proteína microbiana (Avnimelech, 1992; Khun, 2008). Se presenta mayor control debido a los procesos de nitrificación que se desarrollan en el sistema, disminuyendo las grandes cantidades de desperdicios que se generan, que contienen sólidos (heces y alimento no consumido) y nutrientes (nitrógeno y fósforo), que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente si se manejan incorrectamente (Khun, 2010) y pueden ser directamente tóxicos con la fauna acuática de los hábitat y ecosistemas clave cercanos a la fuentes de descarga de agua (Timmons et al, 2002; Boardman et al, 2004; y Khun et al, 2010). Según Crab et al (2007) por lo mencionado anteriormente se disminuyen los costos operacionales ya que no es necesario aplicar técnicas de remoción de nitrógeno, a través de Biofloc de arena, filtros percoladores entre otros (Avnimelech, 2006; Paul et al. 2008). Según Hamano et al (2007); Paul et al (2008); Copertino et al (2009) y Cruz Suárez (2010) el biofloc puede contener algas que aportan a la calidad a través del consumo de nutrientes y filtración física, las cuales también pueden cumplir con la función de protección y sustrato para el camarón (Porchas- Conejo et al., 1999 y Cruz-Suárez 2010).

El sistema BFT tiene un recambio limitado de agua, para lograr mantener la microbiota. Lo cual se convierte en una ventaja económica y ecológica más, ya que los cultivos tradicionales tienen recambios de agua constantes teniendo un mayor consumo de este elemento, al igual que se exportan grandes cantidades de materia orgánica a ecosistemas aledaños a las granjas (Avnimelech, 1999; Naylor et al, 2000), obteniendo como resultado en algunos casos procesos de eutrofización de estuarios

(Wetzel, 2001) y la interacción o enfermedades de transmisión entre camarones de cultivo y camarones silvestres (Hopkins et al, 1995; Lotz, 1997; Ray et al., 2010).

Por consiguiente, el sistema de cultivo BFT permite que haya mayor bioseguridad (Khun, 2008), disminuyendo la probabilidad de la introducción de enfermedades y contaminantes, así evitando que ocurran sucesos como las epizootias presentadas en América en la década de los 90s (Wasielesky et al, 2006b) causal de la quiebra y descenso de muchas empresas en la industria. La reducción del consumo de agua es indudable en el sistema de cultivo BFT. Lo que trae mayor prelación para un buen manejo y conservación del consumo de este recurso (Cuzon, et al, 2004; Wasielesky et al, 2006a; Emerenciano et al, 2009 y Avnimelech, 2009), convirtiéndose también en un "plus" económico y ambiental para la implementación del sistema (Wasielesky et al, 2006), Lo cual ha sido mostrado en trabajos realizados por Cuzon et al (2004) en el IFREMER, Wasielesky (2006) en la FURG Brasil, Avnimelech (2007) en Israel y Emerenciano (2007) en Brasil y México

En la actualidad otra de las preocupaciones económicas y ecológicas que se tienen causadas por la industria acuícola es el uso de grandes extensiones de terreno para la instalación y operación de las granjas (Páez-Osuna, 2001; Uddin et al, 2009; Khun et al, 2009 y Ray et al, 2010). No obstante, el cultivo BFT nos permite disminuir el uso de tierras pudiendo ser un cultivo superintensivo, gracias a que en la actualidad se han estado realizando estudios por investigadores de gran estatus para el desarrollo y mejoramiento del sistema (Emerenciano, 2009) como es el caso de la implementación de sustratos en el sistema de BFT para aumentar la productividad.

El sistema de cultivo BFT también presenta algunas desventajas económicas, basadas principalmente en la alta demanda de aireación mecánica del sistema, siendo necesaria su optimización para una mayor viabilidad económica del sistema y desarrollo del camarón (Hardy, 2010). El aumento de la turbidez y concentración total de sólidos suspendidos, causada por la acumulación de partículas, puede causar un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno y afectarían la salud de los organismos (Hardy, 2010). Por ende, el sistema es mucho más exigente en la parte de técnica y manejo.

Este tipo de sistemas se han propuesto debido a la preocupación por la implementación de desarrollos de alimentos y estrategias de alimentación que se ajusten a las necesidades del sistema y del acuicultor, del anhelo a la reducción de la

dependencia a la harina de pescado y otras fuentes de alimento marino, maximización de eficiencias, bioseguridad y sustentabilidad ambiental (Tacon et al. 2000)



Figura 36. Cultivo intensivo de BFT en Malasya

La acuicultura es la industria que soporta gran parte de la demanda mundial de productos marinos para consumo humano, jugando un papel importante debido al incremento desmesurado de la población (Jackson, 2007; Khun et al., 2010). Sin embargo, los sistemas tradicionales de producción tienen altos impactos ambientales (Ballester et al. 2010) y como consecuencia éstos llegan a afectar la calidad de producción de las granjas y los ambientes adyacentes a las granjas de producción. Por esta razón para que la acuicultura sea exitosa es necesario desarrollar tecnologías que beneficien la economía de los productores y sean ambientalmente sustentables (Khun et al., 2010), como es el caso del sistema de cultivo BFT. El cual permitió evidenciar durante el desarrollo de los experimentos algunas de las ventajas tanto económicas como ecológicas que trae consigo su aplicación.

Los resultados del análisis costo-beneficio que se llevó a cabo en el presente trabajo sugirieron que la estrategia de producción de BFT para las dos especies obtuvo un valor mayor en la relación costo beneficio en dicho sistema. Sin embargo, la productividad por ha fue de 7244 y 7274 para agua clara y BFT, respectivamente, evidenciando que no hay diferencias significativas en cuanto a este resultado en el caso de *L. vannamei*, pudiéndose comparar con productividades de granjas como las de Belice e Indonesia con sistemas intensivos con valores de productividad entre los

7-50000 Kg/ha (Boyd, 2002; Taw, 2005). La especie *F. duorarum* no presentó valores de productividad como los obtenidos para el camarón blanco del pacífico, obteniéndose valores de 4075 kg/ha para agua clara y 4624 kg/ha para BFT, pero si sigue corroborando que se alcanza a tener una mayor productividad también en este caso en el sistema de BFT. De acuerdo a Cuzon et al. (2004) en 1998 el hemisferio occidental producía 132000 ton. pero al comenzarse a implementar estrategias de producción de recambio limitado de agua, esta incremento a 271000 ton en 2003.

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe resaltar que los costos de producción durante el presente estudio para las dos especies en el sistema de BFT fueron menores en comparación con los presentados en el sistema de agua clara, destacándose principalmente una disminución de los costos en alimento comercial, corroborando así que las raciones óptimas obtenidas a través de los factores de conversión alimenticia durante el presente trabajo, en los sistemas de BFT son aplicables, esto estando acorde a estudios realizados en las diferentes granjas en las cuales se ha implementado el sistema a nivel mundial donde han disminuido sus costos de producción hasta un 15 y 20% en comparación con los sistemas tradicionales (Taw,2010) .

Si bien los resultados de los análisis de costo-beneficio se muestran favorables a adoptar el sistema de BFT, se deben considerar ciertos factores que pueden cambiar este resultado, como lo es la buena aplicación de aireadores debido a su aumento en costos de energía (Wasielesky et al., 2006a;Taw, 2010).

En las últimas décadas a pesar del incremento en la producción que se ha tenido en la industria, las preocupaciones causadas por las enfermedades, como el Taura, la mancha blanca , la mionecrosis infecciosa entre otros, se han aumentado debido a las altas mortalidades en las camarónicas que se presentaron en los principales países productores (Wasielesky et al.,2006b). Los sistemas de recambio limitado de agua como el BFT reducen el riesgo, de la introducción o difusión de las enfermedades, aparte de proveer beneficios nutricionales de la productividad natural de los estanques (Mc Intosh et al., 2000; Bratvold and Browdy, 2001; Moss et al., 2001; Samocha et al., 2001; Weirich et al., 2002; Burdford et al., 2003; Wasielesky et al., 2006b).

Convirtiéndose aun más llamativo el sistema ya que la bioseguridad es un tema de gran inquietud, debido a que la mayoría de granjas de zonas templadas y tropicales

solo tienen dos cosechas por año, y su objetivo principal es aumentar sus niveles de productividad (Kumlu et al., 2001; Tidwell et al., 2003; Wasielesky et al., 2006b). Y como menciona Browdy et al., (2001) algunos de los mayores niveles de producción en la industria camaronera logrados en los últimos años se han logrado en sistemas de producción con recambio limitado de agua como el BFT.

Los sistemas de planeación y manejo en los sistemas de producción acuícola usualmente son inadecuados, conllevando así a tener deficiencias técnicas y de productividad (Poot, 2010) incrementando externalidades negativas, tales como el desperdicio de alimento balanceado y contaminación del agua (Bhat y Bhatta, 2004; Birol et al., 2006; Sumaila et al., 2007 en Poot, 2010). Por esta razón la implementación de alternativas de producción más sustentable que nos dirijan a la disminución, sustitución o complementación de los alimentos balanceados es una innovación prometedora en esta industria como ya sabemos de crecimiento exponencial.

Con la aplicación de el sistema de BFT, se puede lograr obtener no solo un mejoramiento o mantenimiento técnico respecto a los sistemas tradicionales de cultivo, sino también sustentabilidad ecológica, social y de costo beneficio. Sin dejar de tomar en cuenta, que es necesario seguir analizando, otros factores económicos y ambientales.

Los resultados obtenidos demostraron que hay que realizar modificaciones en algunas de las variables de producción para obtener una mejor y positiva factibilidad económica como biológica en cultivos de BFT y AC en las especies de *L. vannamei* y *F. duorarum*.

CONCLUSIONES

Al comparar el rendimiento fisiológico entre las dos especies de camarones peneidos *F. duorarum* y *L. vannamei*, en los sistemas de cultivo tradicional o agua clara y BFT, se determinó que la estrategia de distribución de energía de cada una de las especies en los dos sistemas fueron diferentes, principalmente en la energía digerida la cual fue mayor en el sistema de BFT en las dos fases experimentales y en los diferentes tratamientos; También el gasto energético determinado por el proceso de consumo de oxígeno tuvo variaciones significativas en el desarrollo de las dos especies en los diferentes sistemas de cultivo y raciones (ver capítulo 3).

Los parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno, salinidad, nitritos, nitratos, amonio, pH y Vol del floc) en los dispositivos experimentales se mantuvieron dentro de los rangos óptimos de manutención, desarrollo y crecimiento de camarones peneidos propuestos por varios autores. Sin embargo, la temperatura demostró un efecto significativo en el crecimiento de los organismos (en el caso de los experimentos en estanques exteriores) lo cual indica que se requiere de un control estricto de los parámetros fisicoquímicos para optimizar el sistema.

El nitrato tuvo una concentración mayor en el cultivo BFT en la mayoría de las ocasiones debido a las bacterias presente en el agua, el cual es causado por los procesos de nitrificación que se llevan a cabo en dicho sistema, proporcionando alimento a las microalgas presentes en él. Y también el nivel de los nitratos aparece como un signo de estabilidad del medio de cultivo.

A través del balance bioenergético del sistema de BFT se pudo obtener una ración óptima (FCA 1.34:1), con la cual se pudo corroborar que se puede aplicar una disminución en la oferta de alimento comercial en el dicho sistema para las dos especies o de igual forma reducir el % de proteína de la dieta comercial.

Los organismos de *L. vannamei* en los tratamientos (con ración óptima y tradicional) del sistema BFT presentaron mayor supervivencia (80-90%) que los organismos en el sistema de agua clara (60.0-70.0%). Sin embargo, en el caso de *F. duorarum* no se presentaron diferencias significativas en supervivencia manteniendo valores entre el 63.0-71.0 %.

En cuanto al crecimiento de la primera fase experimental los organismos de *F. duorarum* no tuvieron diferencias significativas relacionadas a la ganancia en peso. Sin embargo, para *L. vannamei* hubo una mayor ganancia en peso de los organismos cultivados en el sistema de BFT. En la segunda fase experimental se pudo observar una mayor ganancia en peso para los organismos de las dos especies y las dos raciones (óptima y tradicional) cultivados en el sistema de BFT obteniendo como resultado una biomasa final de 87 g (VOB), 97 g (VTB), 22 g (DBO) y 25 g (DBT). Lo que evidencia que la disminución de la ración no afecta negativamente la fase de crecimiento de los organismos, por el contrario corrobora también que los organismos cultivados en el sistema, gracias a la disponibilidad de proteína nativa, tienen un suplemento alimenticio extra, que permite que se presente una mayor ganancia de peso y biomasa final.

El factor de conversión alimenticia para todos los tratamientos fue mucho menor en el sistema de BFT con respecto al del sistema tradicional o agua clara, generando una ración óptima (FCA 1.34:1), que fue evaluada y comparada, con una ración tradicional (FCA 2.03:1 -3.0:1 valor dado por las Tablas nutricionales de los alimentos comerciales, MaLa Clayton), con la que se ratificó que la disminución en la oferta de alimento comercial en los sistemas de cultivo en agua clara como el sistema de BFT puede ser aplicada.

Los camarones *L. vannamei* provenientes de BFT presentaron un menor o igual gasto de energía en la respiración total con 1.8 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ (VTB) Y 1.6 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ (VOB) en comparación con la del agua clara (2.3 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VAT y 1.5 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VOA, es decir, la energía hace sus funciones de mantenimiento y alimentación, lo cual se traduce en un mayor valor de energía digerible para los tratamientos dispuestos en el sistema de BFT (4.3 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VTB 4.0 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VOB) con respecto a los cultivados en AC (3.5 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VAT y 2.0 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VOA) en relación con los juveniles la especie cultivados en agua clara.

La especie de *F. duorarum* no presentó diferencias significativas en esta variable (ED), sin embargo esto corrobora que no habría afectaciones en las funciones de anteriormente mencionadas.

Los organismos de las dos especies tuvieron mayor cantidad de ME (1,3kJ día⁻¹ camarón⁻¹ FOB, 1 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ FTB, 3.7 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VTB y 3.6 kJ día⁻¹

camarón⁻¹ VOB) y absorbida (1,4 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ FOB, 1,3 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ FTB, 3.8 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VTB y 3.7 kJ día⁻¹ camarón⁻¹ VOB) en el sistema de BFT y en el caso de las raciones, se evidenciaron los valores más altos para la ración óptima. Demostrando nuevamente que hay un mejor rendimiento de las dos especies en el cultivo de BFT, sumado a una disminución de la oferta de alimento comercial (18 kJ g⁻¹).

Es importante destacar que la especie que presentó un mayor rendimiento y desempeño tanto zootécnico como fisiológico en los diferentes tratamientos fue *L. vannamei* (ver capítulo 3), demostrando una vez más que es una de las especies insignia en los sistemas de cultivo y producción de camarones peneidos debido a su potencialidad de crecimiento.

El cultivo de camarones peneidos ha presentado un potencial como área provechosa de inversión en los últimos años, razón por la cual se han implementado alternativas de producción más amigables con el medio ambiente y que puedan mejorar o mantener las ganancias de los productores actuales y futuros de camarón. Sin embargo, las inversiones acuícolas de este tipo requieren un análisis y aplicación adecuada, previo al emprendimiento productivo. Por esta razón, tiene gran importancia la conjunción de las variables tanto biológicas de las especies, como la intensidad del manejo requerido, el manejo de la producción y el manejo económico del sistema de BFT y el sistema tradicional.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones y de acuerdo a los resultados de los escenarios simulados bajo los supuestos y salvedades del análisis económico presentado, se concluye que el modelo de Gompertz es el que mejor se ajustó a la especie *L. vannamei* y el modelo de Von Bertalanfy a *F. duorarum*, indicando que tienen un excelente nivel de predicción para la realización de proyecciones productivas bajo las condiciones descritas.

En cuanto a la viabilidad biológica y económica de cultivar estas dos especies de camarones peneidos, en los sistemas de cultivo tanto de BFT como de agua clara o tradicional, se demostró que es necesario hacer modificaciones en algunas de las variables de costos de producción, como costos de semilla y alimento, ya que al parecer bajo las condiciones de producción aplicadas en el presente trabajo no son factibles financieramente. Sin embargo, la especie *L. vannamei* demostró tener en conjunto las condiciones biológico, productivas y económicas más convenientes, como

una mayor facilidad de reproducción, tendencia a omnívora, herbívora, mayor potencial de ganancia en peso, mayor supervivencia, entre otros.

Para las dos especies y los dos sistemas la proporción costo- beneficio (para *L. vannamei* en AC \$-54.9 y BFT \$1 y para *F. duorarum* \$0.6 AC y \$0.7 BFT) y los beneficios netos, manifestaron valores negativos, lo cual nos lleva a concluir que es necesario reevaluar los gastos de producción para los dos sistemas y especies, buscando como objetivo mejorar la relación costo-beneficio de los sistemas.

Cabe resaltar que los valores de productividad por hectárea que fueron proyectados según los resultados obtenidos para la especie *L. vannamei* fueron buenos en términos de producción real con valores de 7.2 ton/ha para el sistema de agua clara y 7.3 ton/ha para el sistema de BFT, en comparación con los de *F. duorarum* que fueron más bajos con valores de 4.1 ton/ha BFT y 4.6 Ton/ha AC, ratificando nuevamente la adaptabilidad, eficiencia y resistencia de esta especie *L. vannamei* en los diferentes sistemas de cultivo, razones por las cuales es una de las especies de camarones peneidos mundialmente con mayor producción especialmente en la región tropical y subtropical (en países como Vietnam, China, México, Indonesia, Ecuador entre otros) , tanto fisiológica como económicamente en la industria acuícola. Por el contrario especies como *F. duorarum*, que están en proceso de domesticación, y por tal razón, no tienen tal éxito a nivel industrial presentan grandes pérdidas a nivel de productividad comercial, sin embargo, representan un valor atractivo alto debido a sus características biológicas, económico a nivel regional en el golfo de México y por su estado en peligro de extinción, lo cual conlleva a proponer diferentes alternativas de repoblamiento.

RECOMENDACIONES

- Es fundamental para el análisis de datos tanto fisiológico como económico tener la mayor cantidad de datos zootécnicos posibles, principalmente en el caso de las biometrías, lo cual es fundamental para la determinación de los modelos de crecimiento.
- Es necesario también tener en cuenta el tiempo del ciclo de vida de las especies en este caso por ejemplo, *L. vannamei* pudo obtener una talla promedio de 20-25 g en un ciclo de 3-4 meses, cumpliendo con los requisitos exigidos por tallas comerciales óptimas, sin embargo, *F. duorarum* en este mismo tiempo alcanzó tallas tan solo desde 3-4 g, valores bastante inferiores con respecto a los del camarón blanco.
- En dispositivos experimentales a pequeña escala es necesario tener un buen control de la concentración de sólidos suspendidos en el agua y costos de aireación, en el caso del BFT, ya que se pueden generar espacios de anoxia, produciendo aumentos drásticos en las concentraciones de amonio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, P.G., Botsford, L. W., Schuur, A.M. and Johnston, W.E. (1984): "Bioeconomics of Aquaculture", Elsevier, Amsterdam
- Arana, A. Ambiente y sociedad. Un enfoque integrado. (1999). Instituto Pedagógico Rural. El Macano Turmero. Venezuela.
- Arbeláez. A. comparación balance energetico del camarón rosado del golfo de méxico *farfantepenaeus duorarum* como herramienta de evaluación ecológica bajo condición de cultivo basado en el sistema de recambio limitado de agua "biofloc technology BFT" y el cultivo tradicional. (2010). Tesis de licenciatura. Universidad Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- Arreguín-Sánchez, F. & E. A. Chávez, 1985. Estado del conocimiento de las pesquerías de camarón en el golfo de México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, **2**. 23-44.
- Audelo-Naranjo, J. M., Martinez-Cordoba, L. R., VoLolina, D., & Gomez- Jimenez, S. (2010). Water quality, production parameters and nutritional condition of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) grown intensively in zero exchange mesocosms with artificial substrates. *Aquaculture Research*. 1-7.
- Avnimelech, Y. (1993). Control of microbial activity in aquaculture systems: active suspension ponds. *World Aquaculture*. **34**. 19-21
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/Nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems, *Aquaculture*. **176**. 227-235
- Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, **34**, 172-178.
- Avnimelech, Y. (2007) Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*, **264**, 140-147.
- Avnimelech, Y. *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. (2009). World Aquaculture Society, Louisiana.

- Azim, M.E. & Little, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). (2008). *AquacuLure*, **283**, 29-35.
- Balcom B Dispersed oil toxicity tests with species indigenous to the Gulf of México. (1994). Rep MMS: 14-35-0001-30617, Minerals Management Service. 1–8
- Ballester E.L., Wasilesky W., Cavalli R.O. y Abreu P.C.(2007). Nursery of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in cages with artificial substrates: biofilm composition and shrimp performance. *AquacuLure* 269, 355-362.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., Abreu, L. & Wasielesky, W. (2010) Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *AquacuLure Nutrition*, **16**, 163-172.
- Bhat, M.G. & Bhatta, R. 2004. Considering aquacuLure externality in coastal land allocation decisions in India. *Environmental & Resource Economics*, 29: 1-20.
- Bjorndal, T. "Óptimal Harvest Time in Fish Farming". (1988). *Marine Resource Economics*, Vol. 5, N°2, pp. 139-159.
- Birol, E., Karouskis, K., & Koundouri, P. (2006). Using a Choice Experiment to Account for Choice Heterogeneity in Wetland Attributes: The Case of the Cheimaditida Wetland in Greece. *Ecological Economics*, **60**, 145-156.
- Boyd, C.E. & Clay, J.W. 2002. Evaluation of Belize AquacuLure Ld: A superintensive shrimp aquacuLure system. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Published by the Consortium and obtainable through NACA, Bangkok, Thailand. 17 pp.
- Bratvold D. y Browdy C.L. (2001). Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats TM) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* cuLure system. *AquacuLure* 195, 81-94.
- Brito, R., Chimal, M.E., Gelabert, R., Gaxiola, G. & Rosas, C. (2004) Effect of artificial and natural diets on energy allocation in *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) and *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) early postlarvae. *AquacuLure*, **237**, 517-531.

- Browder, J.A., Robblee, M.B. (2009) Pink shrimp as an indicator for restoration of everglades ecosystems. *Ecological Indicators*, **9**, 17-28.
- Browdy, C.L., Bratvold, D., Stokes, A.D. & McIntosh, R.P. (2001) Perspectives on the application of closed shrimp cuLure systems. The New Wave: Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp CuLure (eds. C.L. Browdy and D.E. Jory). pp 20-34. Louisiana.
- Burford, M.A., Stellars, M.J., Arnold, S.J., Keys, S.J., Crocos, P.J. & Preston, N.P. (2004) The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *AquacuLure*, **232**, 525-537.
- Cacho, O., Hatch, U. and Kinnucan H. (1990): "Bioeconomic analysis of fish growth: Effects of dietary protein and ration size", *AquacuLure*, Vol. 88, pp. 223-238.
- Cacho, O. "Systems modeling and bioeconomic modeling in aquacuLure". (1997). *AquacuLure Economics and Management*, Vol. 1, N°1, pp.45-64.
- Campaña-Torres, A., Martínez-Córdova, L.R., Villareal-Colmenares, H., Hernández-López, J., Ezquerro-Brauer, M. Cortés-Jacinto, E. (2009) Efecto de la adición del rotífero *Brachionus rotundiformis* (Tschugunoff, 1921) sobre la calidad del agua y la producción, en cultivos super-intensivos de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, **44**, 335-342.
- Chávez Sánchez, M.C. & Montoya Rodríguez, L. (2004) Medidas de Bioseguridad para evitar la Introducción y Dispersión de Enfermedades Virales en Granjas Camaronícolas. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola (eds L. E. Cruz Suárez, D. Ricque Marie, M. G. Nieto López, D. A. Villareal Cavazos, U. Scholz & M. González), pp. 650-670. Hermosillo, Sonora.
- Cho, C. & Bureau, D. (1999) Bioenergética en la formulación de dietas y estándares de alimentación para la acuacuLura del salmón: Principios, métodos y aplicaciones. Avances en Nutrición Acuícola III: Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, (eds L. E. Cruz Suárez, D. Ricque Marie & R. Mendoza Alfaro), pp. 33-63. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. & Verstraete, W. (2007) Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, **270**, 1-14.
- Cruz-Suárez L. E., León, A., Peña-Rodríguez, A., Rodríguez-Peña, G., Moll B., Ricque-Marie, D. (2010) Shrimp/Ulva co-culture: A sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture*, **301**, 64-68
- Cuzon, G., Lawrence, A., Gaxiola, G., Rosas, C. & Guillaume, J. (2004) Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. *Aquaculture*, **235**, 513-551.
- Dixon, H. & Whitney, F. (2002) Pink shrimp hatchery production in Florida, USA. *Global Advocate*. Vol 5 issue 2, Terra Ceia, Florida.
- Emerenciano, M, Wasielesky, W., Soares, R.B., Ballester, E.C., Izeppi, E.M. & Cavalli, R.O. (2007) Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase de berçário em meio heterotrófico. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, **29**, 1-7.
- Emerenciano, M. (2008) Os avanços, lições e desafios dos sistemas heterotróficos no Brasil. *Panorama da AQUICULURA*, 54-61.
- Emerenciano, M. (2009) Tecnologia de Bioflocos ganha adeptos e chama a atenção nos diferentes continentes. *Panorama da AQUICULURA*, 59-60.
- Emerenciano, M. (2010) Sistemas BFT "Bio-Floc Technology" en el crecimiento, desempeño reproductivo y aspectos bioquímicos del camarón rosado del Golfo de México *Farfantepenaeus duorarum*. Tesis de candidatura a Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (1999). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 1998. FAO. Roma
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2006-2010). Programa de información de especies acuáticas. *Penaeus vannamei*. Programa de información de especies acuáticas. Text by Briggs, M. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [online]. Roma. Updated 2 July 2007. [Cited 26 November 2010].

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2008) Programa de información de especies acuáticas *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). FAO [Online].
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. FAO.
- Fenucci, J.L. (1988) Manual para la cría de camarones peneidos. FAO, Roma.
- Gamito, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to fish population. (1998). *Ecological Modelling*, 113, pp 83-94, Portugal
- Gauquelin, F., Cuzon, G., Gaxiola, G., Rosas, C., Arena, L., Bureau, D. P. & Cochard, J.C. (2007) Effect of dietary protein level on growth and energy utilization by *Litopenaeus stylirostris* under laboratory conditions. *Aquaculture*, Trabajo no publicado.
- Gaxiola, G. & Cuzon, G. (2010) Food vs feed: what makes the point with shrimp? *Journal of Nutrition and Metabolism*. .
- Gillaume, J. Kaushik, S., Bergot, P. & Metailler, R. (2001) Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Springer, London.
- Gracia, A. Aprovechamiento y conservación del recurso Camarón.(2004). Diagnóstico ambiental del golfo de México (eds. M. Caso, I. Pisanty & E. Ezcurra), pp. 713-725. INE y Harte Research Institute for the Gulf of Mexico Studies, México D.F.
- Gomez-Valdes, J. & Jeronimo, G. (2009) Upper mixed layer temperature and salinity variability in the tropical boundary of the California Current, 1997-2007. *Journal of Geophysical Research*, **114**.
- Hardy, R., (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, **41**, 770-776
- Hargreaves, J.A., (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineer*. **34**, 344–363.
- Hoffman, K. M. & Kunze, R. (1971) Linear Algebra. Prentice Hall, New Jersey.
- Hopkins, S.J., Sandifer, P.A., DeVoe, R.M., Holland, F.A., Browdy, C.L., Stokes, A.D., (1995). Environmental impacts of shrimp farming with special reference to the situation in the continental United States. *Estuaries*, **18**, 25-42.

- Jackson, A. (2007). Challenges and opportunities for the fishmeal and fish oil industry
Feed Technology Updates: Solutions for the Global Feed Industry. **2**. 1.
Honolulu.
- Jackson, A. (2012). El papel de la harina y el aceite de pescado en la acuicultura sostenible. *Aquafeed*. 29,09,2012. Consultado el 12-2013.
<http://aquafeed.co/el-papel-de-la-harina-y-el-aceite-de-pescado-en-la-acuicultura-sostenible/>
- Jerónimo, G. Variabilidad termohalina de la capa superior del océano en la región sur de la corriente de California. (2007). PhD Tesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada.
- Ju, Z.Y, Forster I., Conquest, L & Dominy W. (2008). Enhanced growth effects on Shrimp (*L. vannamei*) from inclusion of whole shrimp flocc or flocc fractions to a formulated diet. *Aquaculture Nutrition*. **14**, 533-543
- Kuhn D. , Lawrence A., Boardman G., Patnaik S., Marsh L, & Flick Jr G. (2010). Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluents as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. May-Jun. 75-76.
- Kuhn D., Flick Jr G. & Lawrence A. (2010). Biofloc: Novel sustainable ingredient for shrimp feed. *Global Aquaculture Advocate*. May-jun. 75-76
- Kumlu, M., Eroldogan, O.T., Saglamtimur, B., 2001. The effects of salinity and added substrates on growth and survival of *Metapenaeus monoceros* (Decapoda: Penaeidae) post-larvae. *Aquaculture* 196, 177–188.
- Lee, C.S. Application of Biosecurity in Aquaculture Production Systems. *Aquaculture and pathobiology of crustacean and other species*. (2005) . Proceedings of the thirty-second U.S.-Japan meeting on aquaculture (eds. Y. Sakai, J. P. McVey, D. Jang, E. McVey & M. Caesar), pp. 66-75, California.
- López-Téllez, N., Hernández-Rodríguez, J., Ramírez-Ligonio, H. & Seca-Escalante, J. (2000) Crecimiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* en estanques rústicos. *Ciencia Pesquera*, **14**, 29-32.

- Lotz, J.M., (1997). Special topic review: Viruses, biosecurity and specific pathogen-free stocks in shrimp aquaculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **13**, 405–413.
- Martínez J. A. and Seijo J. C. (2001): “Economic of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semi-intensive shrimp culture systems”, *Aquaculture Economics and Management*, Vol. 5, N°3-4, págs. 129-145.
- McAbee, B.J., Browdy, C.L., Rhodes, R.J. & A.D. Stokes. (2003). The use of greenhouse-enclosed raceway systems for the super-intensive production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States. *Global Aquaculture Advocate*. **6**.
- McIntosh, D., Samocha, T.M., Jones, E.R., Lawrence, A.L., McKee, D.A., Horowitz, S. & Horowitz, A. (2000) The effect of a commercial bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with low-protein diet in outdoor tank system and no water exchange. *Aquacultural Engineering*, **21**, 215-227.
- Mohammadian, Mansour. (2004). La bioeconomía: un Nuevo paradigma socioeconómico para el siglo XXI. Instituto de ciencias ambientales. Universidad Complutense de Madrid. Volume 17 (6).
- Moss, S.M. (2002) Dietary importance of microbes and detritus in penaeid shrimp aquaculture. *Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems* (eds. C-S. Lee & P. O’Byrne), pp. 1-18. World Aquaculture Society, Louisiana.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, **405**, 1017–1024.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K., Nichols, P.D.,(2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* **106**, 15103–15110
- Ocampo, V. L. (2000). Energía metabolizable y eficiencia neta de crecimiento bajo el efecto de variaciones medioambientales en el camarón. *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola* (eds. R. Civera-Cerecedo, C.J. Pérez-Estrada, D. Ricque-Marie & L.E. Cruz-Suárez), pp. 187-201. La Paz, B.C.S.

- Páez-Osuna, F. Camaronicultura y Medio Ambiente. (2001). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, El Colegio de Sinaloa, México D.F.
- Pascual, C., Zenteno, E., Cuzon, G., Sánchez, A., Gaxiola, G., Taboada, G., Suárez, J., Maldonado, T. & Rosas, C. (2004) *Litopenaeus vannamei* juveniles energetic balance and immunological response to dietary protein. *Aquaculture*, **236**, 431-450.
- Pérez-Castañeda, R. & Defeo, O. (2005) Growth and mortality of transient shrimp populations (*Farfantepenaeus* spp.) in a coastal lagoon of Mexico: role of the environment and density-dependence. *Journal of Marine Science*, **62**, 14-24.
- Pérez-Castañeda, R., Blanco-Martínez, Z., Sánchez-Martínez, J. G., Rábago-Castro, J. L., Aguirre-Guzmán, G. & Vázquez-Sauceda, M. (2009) Distribution of *Farfantepenaeus aztecus* and *F. duorarum* on submerged aquatic vegetation habitats along a subtropical coastal lagoon (Laguna Madre, Mexico). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **90**, 445-452.
- Pérez de Noguera, C. & Santos Perea, L. (1995) Cultivo de camarón en estanques. Fundamentos de Acuicultura Marina. Instituto Nacional de la Pesca y Acuicultura, Santafé de Bogotá.
- Poot-López, G.R. Análisis bioeconómico y social del cultivo de tilapia en el estado de Yucatán. (2010). Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. 115 p.
- Porchas-Cornejo, M.A., Martínez-Córdova, L.R., Magallón-Barajas, F., Naranjo-Páramo, J., Portillo-Clark, G., (1999). Efecto de la macroalga *Caulerpa sertularioides* en el desarrollo del camarón *Farfantepenaeus californiensis* (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical* **47**, 437-442.
- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W. (2010a). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, **299**, 89-98
- Ray, J., Seaborn, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A., & Browdy, C. (2010b). Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive

aquacuLure systems and the effects of suspended solids management. *AquacuLure*, 310, 130-138.

Reynolds, W.W. & Casterling, M.E. (1979) Thermoregulatory behavior of the pink shrimp *Peneaeus duorarum* Burkenroad. *Hydrobiologia*, **67**, 179-182

Rosas, C. Bioenergética de camarones peneidos: una forma de comprender los mecanismos fisiológicos involucrados en la nutrición. (1996). Avances en Nutrición Acuícola III: Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, (eds L. E. Cruz Suárez, D. Ricque Marie & R. Mendoza Alfaro), pp. 33–63. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Rosas, C., Sánchez, A., Chimal, Ma E & Brito, R. (2003). Manual de métodos para la evaluación del balance energético en crustáceos. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Jornadas Iberoamericanas de nutrición en acuicuLura. Cartagena de Indias

Rosas, C., Cooper, E.L., Pascual, C., Brito, R., Gelabert, R., Moreno, T. & Sánchez, A. (2007) Physiological and immunological conditions of wild populations of *Farfantepenaeus duorarum* from the Campeche Sound (Crustacea, Penaeidae). *Marine Biology*, **152**, 929–938.

Sangronis, C., García, L., Buonocore, R., Briceño, H. & Godoy, A. (2002) El camarón Blanco *Litopenaeus schmitti* presente en la Ciénaga Los Olivitos (Zulia-Venezuela) y su relación con algunos factores físico-químicos. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, **36**, 12-25.

Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. (2008) The basics of bio-flocs technology: The added value for aquacuLure. *AquacuLure*, **277**, 125-137.

Soares, R., Jackson, C., Coman, F. & Preston, N. (2004) Nutritional composition of flocculated material in experimental zero-exchange system for *Penaeus monodon*. Australian AquacuLure. CSIRO AquacuLure, Sydney.

Springborn, R. R., Jensen A. L., Chang, W. Y. B. and Engle, C. (1992): "Optimum harvest time in aquacuLure: an application of economic principles to a Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), growth model", *AquacuLure and Fisheries and Management*, Vol. 23, pp.

639-647.

- Stoer, J. & Bulirsch, R. (1980) Introduction to Numerical Analysis. Springer-Verlag, New York.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research. Board Canada. pp 167. Canada.
- Sumaila UR, Marsden D, Watson R, Pauly D (2007) Global exvessel fish price database construction, spatial and temporal applications. *J Bioecon* 9:39–51
- Sumule, O., Koshio, S., Teshima, S. & Ishikawa, M. (2003) Energy budget of *Marsupenaeus japonicus* postlarvae fed highly unsaturated fatty acid-enriched and non-enriched *Artemia nauplii*. *Fisheries Science*, **69**, 706-715.
- Tacon, A.G.J., Warren, G. & Pruder, G.D. (2000) Tendencias y retos globales de los alimentos para el camarón. Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola (eds. R. Civera-Cerecedo, C.J. Pérez-Estrada, D. Ricque-Marie & L.E. Cruz-Suárez), pp. 1-27. La Paz, B.C.S.
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P. & Decamp, O.E. (2002) Effect of cuLure system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *AquacuLure Nutrition*, **8**, 121-137.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P., (2006). Use of fishery resources as feed inputs for aquacuLure development: trends and policy implications. FAO (Food and AgricuLure Organization of the United Nations): FAO Fisheries Circular No. 1018, 110.
- Taw, N. (2005). Indonesia Shrimp Production. Presented in the Indonesian shrimp farmers session of World AquacuLure 2005, May 9–13, 2005, Nusa Dua, Bali, Indonesia. Charoen Pokphand, Jakarta Indonesia. 18 pp.
- Taw, N. (2010). Biofloc Technology expanding at White shrimp farms. Global AquacuLure advocate. May 24-26.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Bright, L.A., Van Arnum, A., Weibel, C., 2003. The effects of size grading and length of nursery period on growth and

population structure of freshwater prawns stocked in temperate zone ponds with added substrates. *Aquaculture* 218, 209–218.

Uddin, M.S., Azim, M.E., Wahab, M.A. & Verdegem, M.C.J. (2009) Effects of substrate addition and supplemental feeding on plankton composition and production in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture. *Aquaculture*, **297**, 99-105.

Valenzuela Jimenez, M.A. (2009) Condição Fisiológica e Imunológica do camarão rosa do Golfo do México *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) cultivado em Sistema Bio-Floc Technology (BFT) com fertilização orgânica e troca mínima de água. Tesis para Maestro en Ciencias, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Van Wyk, P., Scarpa, J.. (1999). Water Quality and Management. In: Van Wyk, P., et al. (Eds.), Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee. 128–138.

Von Storch H. y Zwiers, F.W. (2001) Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University Press, Cambridge.

Wasielesky, W.J. (2000). Cultivo de juvenis do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* (Decapoda, Penaeidae) no estuário da Lagoa dos Patos: efeitos dos parâmetros ambientais. Tese (doutorado) - Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande-RS.

Wasielesky, W., Emerenciano, M.; Ballester, E.; Soares, R.; Cavalli, R. y Abreu, P. C. (2006a). Flocos Microbianos: um novo caminho a ser percorrido. Revista Panorama da Aqüicultura, **16**, 14-23.

Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A. y Browdy, C.L.. (2006b). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based superintensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* **258**, 396-408.

Weirich, C.R., Browdy, C.L., Bratvold, D., McAbee, B.J., Stokes, A.D., 2002. Preliminary characterization of a prototype minimal exchange super-intensive shrimp production system. Proceedings of the IVth International Conference on Recirculating Aquaculture. Virginia Tech

Wetzel, R.G., (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems, 3ra edición. Academic Press, San Diego, California.

Wickins, J.F.. (1976). The tolerance of warm-water prawns to recirculated water. *AquacuLure*. **9**, 19–37.

ZAR J.H. Biostatistical analysis. Third edition. (1996). Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, USA

Zúñiga, S., 2010. A dynamic simulation analysis of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) production in Chile. *Aquaculture International* 18, 603–62

ANEXOS

Anexo 1. Formato de biometrias

| BIOMETRIAS | | | |
|------------|-------|-------------|---------|
| | FECHA | | |
| ORGANISMO | | | |
| | PESO | TRATAMIENTO | ESPECIE |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |
| 21 | | | |
| 22 | | | |
| 23 | | | |
| 24 | | | |
| 25 | | | |
| 26 | | | |
| 27 | | | |

Anexo 2. Formato para medición de parámetros fisicoquímicos

| FECHA | | HORA | 08:00 a.m. | | |
|---------------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------|----------------|
| Num tara | Oxígeno | Temperatura | Salinidad | pH | Oxígeno |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| 26 | | | | | |
| 27 | | | | | |
| 28 | | | | | |
| 29 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 31 | | | | | |
| 32 | | | | | |
| 33 | | | | | |
| 34 | | | | | |
| 35 | | | | | |
| 36 | | | | | |
| 37 | | | | | |
| 38 | | | | | |
| 39 | | | | | |
| 40 | | | | | |

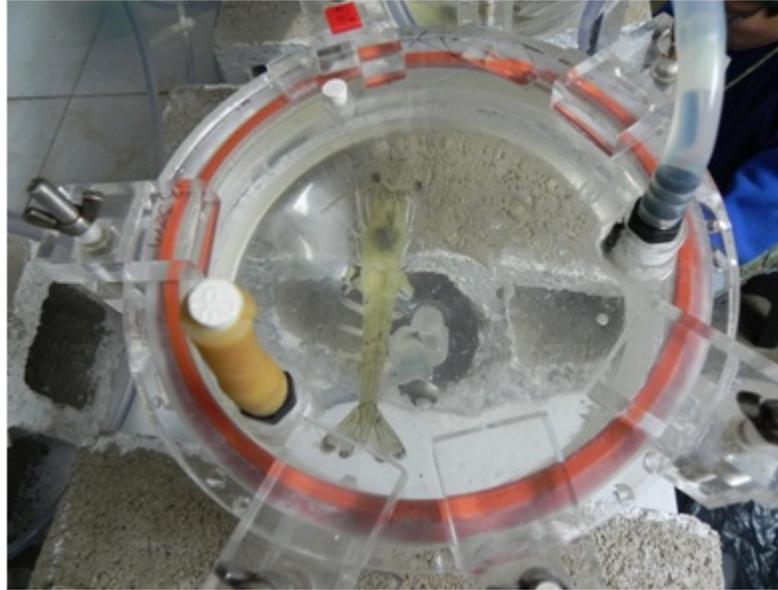
Anexo 3. Formato para obtención de datos de calorimetría.

| N° camarón | N° replica | Peso seco camarón | Peso de capsula metálica | Peso de alambre | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 | Tiempo 4 | Peso Final del alambre | Peso final de la capsula | Titulación |
|------------|------------|-------------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|------------------------|--------------------------|------------|
| 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | 2 | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | | | | | | | | | | |
| 5 | 2 | | | | | | | | | | |
| 5 | 3 | | | | | | | | | | |
| 6 | 1 | | | | | | | | | | |

Anexo 4. Formato obtención de datos de respirometria

| RESPIROMETRIA DE CAMARON (<i>Farfantepenaeus duorarum</i> () o <i>Litopenaeus vannamei</i> ()) | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Tratamiento de organismos alimentados diariamente ISY () U OXY () | | | | | |
| Hora | Temperatura (C°) | No de camara | consumo de oxígeno (entrada) | consumo de oxígeno (salida) | Flujo |
| 08:00 a.m. | | 1 | | | |
| | | 2 | | | |
| | | 3 | | | |
| | | 4 | | | |
| | | 5 | | | |
| | | 6 | | | |
| | | 7 | | | |
| | | 8 | | | |
| | | 9 | | | |
| | | Ctrl | | | |

Anexo 5. Imagen de Organismo de *L. vannamei* en cámara respirométrica de 2 L.



Anexo 6. Estanque de 2 Ton.



Anexo 7. Dispositivo para realizar respirometrias



Anexo 8. Captura a través de fondeos de *F. duorarum* en la Ría de Celestún.



Anexo 9. Tabla comparativa de parámetros zootécnicos fisicoquímicos y económicos en las dos especies durante los cuatro experimentos

| PARAMETROS | <i>L.vannamei</i> | | | | | | <i>F. duorarum</i> | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|---------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------|--------------------|---------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------|
| | Exp. 1 | | Exp.2 | | | | Exp. 1 | | Exp.2 | | | |
| | AC | BFT | AC - Racion tradicional | AC - Racion optima | BFT- Racion Tradicional | BFT- Optima | AC | BFT | AC - Racion tradicional | AC - Racion optima | BFT- Racion Tradicional | BFT- Optima |
| Fisicoquimicos | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura °c | 22.94 | 22.32 | 26.45 | 26.47 | 26.59 | 26.59 | 25.2 | 25.5 | 26.48 | 26.47 | 26.76 | 26.61 |
| Oxigeno mg/L | 6.91 | 6.91 | 5.2 | 4.4 | 4.34 | 5.11 | 6.4 | 6.5 | 5.4 | 5.37 | 5.07 | 5.21 |
| Salinidad | 39.05 | 39.68 | 30.5 | 36.6 | 36.8 | 36.8 | 39.1 | 38.6 | 30.5 | 36.48 | 30.51 | 36.8 |
| pH | 8.64 | 8.58 | 7.61 | 7.69 | 7.84 | 7.86 | 7.9 | 8 | 7.69 | 7.61 | 7.84 | 7.86 |
| Amonio mg/L | - | - | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.4 | 0.3 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Nitrito mg/L | - | - | 0.02 | 0.02 | 0.38 | 0.53 | 0.2 | 0.3 | 0.09 | 0.02 | 0.36 | 0.45 |
| Nitrato mg/L | - | - | 0.82 | 0.77 | 0.42 | 1.03 | 12.7 | 7.3 | 0.63 | 0.63 | 0.51 | 1.29 |
| Vol. Floc ml/L | - | 6.69 | - | - | 6.69 | 6.69 | - | 7.9 | - | - | 6.69 | 6.69 |
| Zootecnicos | | | | | | | | | | | | |
| Ganancia en peso g | 34.65 | 35.58 | 2.9 | 1.3 | 9.9 | 7.8 | 10.4 | 10.9 | 1.6 | 1.7 | 3.2 | 2.7 |
| Biomasa g | 4891.65 | 5199.04 | 74.1 | 67.7 | 97.1 | 86.5 | 6300 | 8400 | 20.9 | 19.9 | 22.2 | 24.6 |
| Supervivencia % | 87 | 90 | 65.7 | 65.7 | 88.6 | 85.7 | 53 | 65 | 71.4 | 65.7 | 68.6 | 62.9 |
| FAC | 3.01 | 3.01 | 2 | 1.3 | 2 | 1.3 | 3 | 3 | 2.11 | 1.5 | 2.03 | 1.34 |
| Bioenergeticos | | | | | | | | | | | | |
| ED Joules/día/camarón | 5132 | 2237 | 3451.7 | 2025.8 | 4363.8 | 4042.7 | 2466.2 | 1461.8 | 1219.9 | 1430.6 | 1585.7 | 1486.3 |
| ER Joules/día/camarón | 3062 | 1430 | 2265.8 | 1471.9 | 1782.6 | 1620 | 1324.6 | 567.8 | 546.2 | 623.1 | 808.9 | 646.8 |
| ENH3 Joules/día/camarón | 420 | 102 | 280.8 | 165.5 | 349.9 | 324 | 199.9 | 117.6 | 95.4 | 113.4 | 126.5 | 118.8 |
| RE Joules/día/camarón | 785 | 507 | 854 | 366.5 | 2104.9 | 1980 | 896.8 | 739.1 | 714.1 | 636.8 | 596.6 | 673.6 |
| Eexv Joules/día/camarón | 48 | 35 | 51.2 | 22 | 126.3 | 118.8 | 36.96 | 44.84 | 64.3 | 57.3 | 53.7 | 47.2 |
| Análisis Costo- beneficio | | | | | | | | | | | | |
| Costo Beneficio \$ | -454.9 | 3.07 | - | - | - | - | 0.67 | 0.74 | - | - | - | - |
| Productividad kg/ha | 7244.01 | 7274.5 | - | - | - | - | 4075.39 | 4624.04 | - | - | - | - |
| Costos Unitarios \$ | 132 | 99.83 | - | - | - | - | 87.14 | 55.62 | - | - | - | - |

