



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
(BIOLOGÍA MARINA)

“CULTIVO INTEGRAL DE CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*)-  
TOMATE (*Lycopersicon esculentum*)-LECHUGA (*Lactuca sativa*) CON AGUA DE  
BAJA SALINIDAD Y CERO RECAMBIO: FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA  
Y VALUACIÓN AMBIENTAL”

T E S I S  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

**PRESENTA:**  
**JUAN FRANCISCO FIERRO SAÑUDO**

**TUTOR:**  
**DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA  
MAZATLÁN, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**  
**DR. ALONSO AGUILAR IBARRA**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM  
**DRA. ROSARIO HAYDÉE PÉREZ ESPEJO**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM  
**DR. JESÚS TRINIDAD PONCE PALAFOX**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
**DR. BERNARDO MURILLO AMADOR**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**MÉXICO, D.F. 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.

Este trabajo se desarrolló en el Módulo Experimental Yum Kaax y en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán, UNAM, a cargo del Dr. Federico Páez Osuna.

Las postlarvas fueron donadas por los laboratorios Provedora de Larvas S.A. de C.V. (FITMAR) y AQUAPACIFIC S.A. de C.V. Las plántulas de tomate utilizadas fueron donadas por Agrícola el Chaparral S. de P.R de R.L.

El proyecto se desarrolló gracias al apoyo institucional del ICMYL-UNAM y parcialmente a través del apoyo al proyecto "Calidad del agua en el cultivo integral de camarón en agua dulce con sistema hidropónico de tomate. Clave: UAS-PROFAPI 2012/123.

*DEDICATORIA*

*Dedico este trabajo a mi padre el Sr. Jaime Servando Fierro Vega, a mi madre la Sra. María Flora Sañudo Loredo y a mi hermano Jaime Adán Fierro Sañudo por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.*

*A mi segunda familia, la Sra. Silvia Díaz del Guante (mamá Silvia), Teresa Valdés Díaz del Guante, Isabel Valdés Días del Guante y Dulce Valdés Días del Guante.*

*Sin su apoyo y esfuerzo este trabajo no sería posible. ¡Mil gracias!*

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente quiero agradecer al **posgrado de Ciencias del Mar y Limnología** de la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado la oportunidad de estudiar este posgrado y por facilitarme las herramientas necesarias para la realización de mi maestría.

Agradezco a **CONACYT** por el apoyo recibido de su parte mediante la beca recibida a lo largo de mi estudio de posgrado que me permitió dedicarme de lleno a mis estudios.

A mis miembros de comité tutorial: **Dra. Rosario Haydée Pérez Espejo, Dr. Jesús Trinidad Ponce Palafox, Dr. Alonso Aguilar Ibarra, Dr. Bernardo Murillo Amador, M. en C. Manuel Martín Mariscal Lagarda y Dr. Gustavo Alejandro Rodríguez Montes de Oca** por sus valiosas aportaciones que enriquecieron el presente trabajo de tesis.

Un especial agradecimiento para mi director de tesis, **Dr. Federico Páez Osuna** por su paciencia, dedicación y enseñanzas, y guiarme en todo momento para que esta tesis se realizara satisfactoriamente.

Mi más sincero agradecimiento al **M. en C. Manuel Martín Mariscal Lagarda** por todos los conocimientos impartidos desde el diseño, construcción y operación del módulo experimental Yum Kaax, así como sus observaciones y recomendaciones para el presente trabajo de tesis.

Un especial agradecimiento al **Dr. Alonso Aguilar Ibarra** por aceptar colaborar en la realización de esta tesis, por recibirme en calidad de estancia y compartir sus conocimientos conmigo, su ayuda fue invaluable.

Agradezco al **Dr. Miguel Ángel Franco Nava** por regalarnos un poco de su tiempo y por su gran ayuda en la parte técnica del proyecto, en especial en lo que concierne a sistemas de recirculación y por su ayuda asesoría en los análisis estadísticos de los resultados obtenidos.

A los laboratorios de producción de postlarvas "**Provedora de Larvas S.A. de C.V. (FITMAR)** y **AQUAPACIFIC S.A. de C.V.** por donarnos la larva utilizada en los experimentos.

Al **Ing. Ramón Lizárraga** por su asesoría en el cultivo de tomate y **Agrícola El Chaparral** por la donación de las plántulas utilizadas en el experimento.

A mis compañeros de proyecto: **Suammy Gabriela Alarcón Silvas, Armando León Cañedo, Juan Gregorio Gutiérrez Valenzuela y Javier Ramírez Rochín** que juntos logramos salir delante de los problemas que se nos presentaron y logramos concluir satisfactoriamente el sistema integrado camarón-tomate-lechuga.

Al **Quím. Humberto Bojórquez Leyva** por sus consejos y ayuda en la resolución de dudas sobre todo en aspectos de gramática.

A **Margarita Cordero Ruíz, Natalia Medina, Diana Juárez, Gabriela Almaraz, Chantal Ruíz y Guadalupe Godoy** por su disponibilidad, asesoría y ayuda en los trámites a lo largo del posgrado.

A la **Sra. María Clara Ramírez Jáuregui** por su completa disposición y gran apoyo en la búsqueda de material bibliográfico necesario para la realización de esta tesis.

Al **Mat. Germán Ramírez, al Lic. Carlos Suárez y a la Lic. Herlinda Rojas** por su valiosa ayuda en todo lo relacionado al centro de cómputo y preparación de las videoconferencias.

Finalmente agradezco a mis compañeros de laboratorio: **Gladys Valencia, Martha Millán, Marcela Fregoso, Susana Osuna, Cristina Osuna, Omar Rubio, Magdalena Bergés, Yassir Torres, Yazmín Segura, Víctor Nuñez, Suammy Alarcón, Armando León, Juan Gregorio Gutiérrez y Javier Rochín**, así como a mis compañeros de generación por los buenos momentos y ratos de distracción a lo largo de mi estancia en este posgrado.

## INDÍCE DE CONTENIDO

INDÍCE DE TABLAS.....	III
INDÍCE DE FIGURAS .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
5. OBJETIVO GENERAL .....	8
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
7. METODOLOGÍA.....	9
7.1. Área de estudio .....	10
7.2. Sistema experimental.....	10
7.3. Desarrollo del proceso de producción .....	11
7.3.1. Cultivo de camarón.....	11
7.3.1.1. Preparación de los tanques de cultivo .....	12
7.3.1.2. Adquisición y transporte de postlarvas.....	12
7.3.1.3. Aclimatación y siembra de postlarvas .....	13
7.3.1.4. Monitoreo de la calidad del agua.....	14
7.3.1.5. Alimentación .....	15
7.3.1.6. Biofiltro sumergido .....	15
7.3.1.7. Crecimiento y cosecha.....	16
7.3.2. Cultivo de tomate .....	17
7.3.2.1. Transporte y siembra de las plántulas.....	17
7.3.2.2. Entutorado o guiado de la planta .....	18
7.3.2.3. Deshoje, podas y cosecha .....	18
7.3.3. Cultivo de Lechuga.....	19
7.4. Evaluación del sistema de producción propuesto.....	19
7.4.1. Análisis estadístico de los datos de producción .....	20
7.5. Estructura de los costos .....	21

7.6. Análisis de factibilidad .....	21
7.7. Cálculo del beneficio ambiental .....	22
7.7.1. Cálculo del agua utilizada durante el cultivo.....	22
7.7.2. Identificación de los tratamientos de agua .....	23
7.7.3. Estimación de los costos de filtración .....	24
7.7.4. Deflactación de los costos de depuración.....	24
7.7.5. Cálculo del beneficio ambiental .....	24
7.7.6. Cálculo del costo ambiental.....	25
7.7.7. Calculo del beneficio ambiental neto .....	26
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
8.1. Cultivo de camarón.....	26
8.2. Cultivo de tomate .....	40
8.2.1. Cultivo de tomate uva.....	40
8.2.2. Cultivo de tomate bola.....	42
8.3. Cultivo de lechuga.....	44
8.4. Análisis económico .....	45
8.4.1. Proyecciones de producción .....	49
8.4.1.1. Costos de operación y utilidades .....	49
8.4.1.2. Punto de equilibrio .....	51
8.4.1.3. Valor presente neto.....	52
8.4.1.4. Tasa interna de retorno .....	53
8.4.1.5. Relación beneficio-costos .....	53
8.4.1.6. Periodo de recuperación .....	54
8.5. Beneficio ambiental.....	56
9.0 CONCLUSIONES.....	63
10.0 RECOMENDACIONES .....	66
11.0 BIBLIOGRAFÍA .....	67
12.0 ANEXOS .....	73

## INDÍCE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad de aclimatación dependiendo de la salinidad (adaptado de Van Wyk, 1999). .....	13
Tabla 2. Variables de calidad del agua monitoreadas durante el ciclo de cultivo..	14
Tabla 3. Escala para tipificar la cantidad de alimento remanente después de un tiempo específico (Zendejas-Hernández, 1994). .....	15
Tabla 4. Valores para ajustes de la tabla de alimentación sobre valores promedio observados en los comederos (Zendejas-Hernández, 1994). .....	15
Tabla 5. Concentraciones máximas recomendadas de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos en cultivo de camarón. ....	23
Tabla 6. Datos promedio de producción para el cultivo de <i>L. vannamei</i> obtenidos durante el cultivo integrado de camarón y dos variedades de tomate usando agua de baja salinidad. ....	26
Tabla 7. Datos de producción de cultivos en agua de baja salinidad y cultivos en agua dulce de camarón blanco <i>L. vannamei</i> a densidades de siembra semi-intensivas e intensivas. ....	38
Tabla 8. Datos de producción, tasas de recambio y consumo de agua en cultivos en agua de baja salinidad y cultivos en agua dulce de diferentes especies de camarón a densidades de siembra semi-intensivos e intensivos. ....	39
Tabla 9. Datos de producción para tomate uva obtenidos durante el cultivo integrado de camarón con agua de baja salinidad. ....	40
Tabla 10. Datos de producción para tomate bola obtenidos durante el cultivo integrado de camarón con agua de baja salinidad. ....	42
Tabla 11. Datos de producción de lechuga romana obtenidos al final del cultivo.	44
Tabla 12. Datos de producción de lechuga orejona obtenidos al final del cultivo..	44
Tabla 13. Costos de inversión empleados en la construcción del cultivo piloto. ...	45
Tabla 14. Costos de operación del cultivo piloto para el módulo 1. ....	46
Tabla 15. Costos de operación del cultivo piloto para el módulo 2. ....	47
Tabla 16. Ingresos, costos de operación y utilidad neta del proyecto piloto. ....	48
Tabla 17. Indicadores financieros calculados para el cultivo piloto. ....	48

Tabla 18. Costos de operación de depuración.....	57
Tabla 19. Costos de inversión para las plantas tratadoras de agua en México. (CNA, 2001b).....	57
Tabla 20. Beneficios ambientales por daño ambiental evitado del cultivo piloto. ...	59
Tabla 21. Costo ambiental calculado para el proyecto piloto. ....	59
Tabla 22. Beneficio ambiental neto por daño ambiental evitado del cultivo piloto.	60
Tabla 23. Beneficios privados, beneficios ambientales y beneficios netos del proyecto piloto.....	60

## INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama representativo al desarrollo del presente trabajo. ....	9
Figura 2. Localización del sitio donde se desarrolló el proyecto.....	10
Figura 3. Diseño del sistema de producción utilizado. ....	11
Figura 4. Biofiltro sumergido implementado en el cultivo integral camarón-tomate con base a lo propuesto por Van Wyk (1999).....	16
Figura 5. Diagrama del procedimiento para estimar el beneficio ambiental. ....	22
Figura 6. Diagrama del procedimiento para estimar el costo ambiental. ....	25
Figura 7. Crecimiento del camarón blanco <i>L. vannamei</i> cultivado en agua de baja salinidad y a dos diferentes niveles de conductividad.. ....	27
Figura 8. Producción de tomate uva por cama obtenida durante el cultivo integrado camarón-tomate con agua de baja salinidad para los tres tratamientos. ....	41
Figura 9. Producción de tomate bola acumulada por cama obtenida durante el cultivo integrado de camarón-tomate usando agua de baja salinidad para los tres tratamientos. ....	42
Figura 10. Costo de operación por hectárea para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad. ....	50
Figura 11. Utilidades por hectárea estimadas para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad. ....	51
Figura 12. Punto de equilibrio calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad. ....	52
Figura 13. Valor presente neto calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad. ....	52
Figura 14. Tasa interna de retorno calculada para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad. ....	53
Figura 15. Relación beneficio-costo calculada para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad). ....	54
Figura 16. Periodo de recuperación calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad). ....	55

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la viabilidad técnica-científica, económica y valoración ambiental de un sistema de cultivo integrado de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con dos tipos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y dos tipos de lechuga (*Lactuca sativa*) a dos niveles de conductividad eléctrica, 2000 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (equivalente a 1.2 y 1.9  $\text{g L}^{-1}$ , respectivamente) a escala piloto. Se registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ambos tratamientos: el módulo de 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (módulo 1) presentó una mayor supervivencia ( $90.1 \pm 7.0 \%$ ), un mayor rendimiento ( $6.1 \pm 0.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) y un factor de conversión alimenticia más bajo (1.6), mientras que el módulo de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (módulo 2) registró un mayor peso individual final ( $11.0 \pm 1.5 \text{ g}$ ), un mayor crecimiento por semana ( $0.65 \pm 0.09 \text{ g/semana}$ ) al igual que la tasa de crecimiento específico ( $4.5 \pm 0.07 \%$ ). Los dos tipos de tomate irrigados con el efluente de cultivo de camarón mostraron en general una marcada tendencia a ser menores en las distintas variables de producción, con respecto al control que fue irrigado con una solución nutritiva. Para el caso de tomate uva se obtuvo un mayor número de tomates por planta ( $64.6 \pm 58.0$ ), una mayor producción por planta ( $203.8 \pm 203.0 \text{ g/planta}$ ), una mayor producción acumulada ( $7.3 \pm 7.3 \text{ kg/cama}$ ) y un mejor rendimiento ( $8.5 \pm 8.4 \text{ t ha}^{-1}$ ) en el módulo 1 con respecto al módulo 2, siendo similares solamente en el peso individual promedio del fruto,  $3.2 \pm 0.5$  y  $2.9 \pm 0.4$ , respectivamente. Para el tomate bola de igual manera, los mejores resultados se obtuvieron con el módulo 1, registrándose una mayor producción por planta ( $316.8 \pm 136.5 \text{ g/planta}$ ), mejor producción acumulada ( $11.4 \pm 4.9 \text{ kg/cama}$ ) y un mayor rendimiento ( $13.1 \pm 5.7 \text{ t ha}^{-1}$ ). Solamente mostraron igualdad en el número de tomates por planta ( $5.9 \pm 2.5$  para el módulo 1 y  $4.9 \pm 2.8$  para el módulo 2) y el peso individual promedio del fruto ( $58.3 \pm 28.3$  y  $58.3 \pm 19.5 \text{ g}$ , para el módulo 1 y 2, respectivamente). Para la lechuga romana el módulo 1 registró un mayor peso individual ( $169.6 \pm 99.1 \text{ g}$ ) y un mayor rendimiento ( $12.2 \pm 7.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), mientras que en la lechuga orejona no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los tres tratamientos. El proyecto a escala piloto es técnicamente factible, debido a

que se llevaron a cabo ambos cultivos desde su siembra hasta su cosecha; sin embargo, con los resultados obtenidos en el análisis financiero se concluye que no es viable económicamente a esta escala. Las proyecciones de producción demuestran que el módulo 1 + tomate uva comienza a ser rentable a partir de dos hectáreas de superficie de cultivo mientras que en el peor de los casos el módulo 2 + tomate bola comienza a ser rentable a partir de cinco hectáreas de superficie de cultivo. En cuanto a la valuación ambiental, el módulo 1 registró los beneficios ambientales más altos, con \$314,176.65 pesos el mínimo y \$314,391.88 pesos el máximo, mientras que el módulo 2 registró beneficios ambientales ligeramente menores con \$314,176.61 pesos el mínimo y \$314,388.68 pesos el máximo.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the technical feasibility, economic and environmental valuation of an integrated culture system of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with two kinds of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and two kinds of lettuce (*Lactuca sativa*) at two levels of electrical conductivity, 2000 and 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (equivalent to 1.2 and 1.9  $\text{g L}^{-1}$ , respectively) a pilot scale. Significant differences ( $P < 0.05$ ) between both treatments were found, the module of 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (module 1) had a higher survival ( $90.1 \pm 7.0\%$ ), yield ( $6.1 \pm 0.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) and a lower feed conversion (1.6), while the module of 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (module 2) registered a higher individual final weight ( $11.0 \pm 1.5 \text{ g}$ ), growth rate ( $0.65 \pm 0.09 \text{ g week}^{-1}$ ) and specific growth rate ( $4.5 \pm 0.07\%$ ). The two tomato kinds irrigated with shrimp tank effluent showed a marked tendency to be lower than the control irrigated with a nutrient solution. In the case of grape tomato plants, a higher number of fruits per plant was reached ( $64.6 \pm 58.0$ ), an increased production per plant ( $203.8 \pm 203.0 \text{ g/plant}$ ), a higher cumulative production ( $7.3 \pm 7.3 \text{ kg/bed}$ ) and better yield ( $8.5 \pm 8.4 \text{ t ha}^{-1}$ ) in the module 1 with respect to the module 2, being similar both modules only in the mean individual fruit weight,  $3.2 \pm 0.5$  and  $2.9 \pm 0.4 \text{ g}$ , respectively. For the ball tomato, the best results were obtained in the module 1 showing a greater production per plant ( $316.8 \pm 136.5 \text{ g/plant}$ ), better cumulative production ( $11.4 \pm 4.9 \text{ kg/bed}$ ) and a higher yield ( $13.1 \pm 5.7 \text{ t ha}^{-1}$ ). The two modules showed equal number of fruits per plant ( $5.9 \pm 2.5$  for the module 1 and  $4.9 \pm 2.8$  for the module 2) and mean individual fruit weight ( $58.3 \pm 28.3$  and  $58.3 \pm 19.5 \text{ g}$ , for the module 1 and 2, respectively). For the "romana" lettuce at module 1 showed a higher mean individual weight ( $169.6 \pm 99.1 \text{ g}$ ) and a higher yield ( $12.2 \pm 7.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), while the "orejona" lettuce were not significant ( $P > 0.05$ ) differences between treatments. The pilot-scale project is technically feasible, because they were carried out both crops from planting to harvest; however, the results of the financial analysis evidenced that it is not economically viable at this scale. In terms of environmental valuation, the module 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  recorded environmental benefits higher, with \$314,176.65 Mexican pesos as minimum, and

\$314,391.88 Mexican pesos as maximum, while module 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  recorded similar environmental benefits with \$314,176.61 Mexican pesos as minimum and \$314,388.68 Mexican pesos as maximum.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el cultivo de camarón usando agua de mar ha alcanzado un desarrollo significativo gracias al desarrollo del conocimiento científico y tecnológico incrementando la producción global de 900 t en 1970 a 3, 787, 706 millones de toneladas en el 2010 (FAO, 2012); sin embargo, la industria ha sufrido severas pérdidas económicas, ocasionadas principalmente por la presencia de enfermedades virales como la mancha blanca (WSSV), cabeza amarilla (YHV) y el virus del Taura (TSV).

Como una estrategia para contrarrestar el impacto de las enfermedades virales, a principios de la década de los noventa se empezó a desarrollar la tecnología para cultivar camarón empleando agua de baja salinidad en Tailandia, y para el año 2000 se encontraban abiertas al cultivo 22,455 ha (Flaherty *et al.*, 2000). Actualmente esta técnica de cultivo se practica en China, India, Ecuador, Venezuela, Brasil, Estados Unidos, Perú, México y Australia (Boyd y Thunjai, 2003; McNevin *et al.*, 2004; Collins *et al.*, 2005).

Vale la pena resaltar que el cultivo de camarón tierra adentro puede integrarse a la actividad agrícola aprovechando los efluentes de las granjas, los cuales son ricos en nutrientes y de esta manera optimizar el uso del agua para producir de manera sustentable arroz, como ocurre en Tailandia (Flaherty *et al.*, 2000), melón y forraje en Brasil (Miranda *et al.* 2008a; 2010) y aceitunas en Estados Unidos (McIntosh y Fitzsimmons, 2003), y al mismo tiempo aminorar el impacto ambiental producido por los efluentes de esta actividad, convirtiéndose así en una excelente opción para el desarrollo sustentable de ambas actividades.

Estos sistemas integrados de acuicultura-agricultura presentan grandes ventajas, entre ellas, la disminución del uso del agua para ambas actividades, por lo que estos tipos de sistemas pueden implementarse en lugares donde el recurso agua es un factor limitante (Prinsloo y Schoonbee, 1993; Ingram *et al.*, 2000), en estos sistemas, el retorno económico por metro cubico de agua es mayor al tener dos productos finales a la vez (McIntosh y Fitzsimmons, 2003), se minimiza el uso

de fertilizantes en la agricultura gracias a los aportes de nutrientes de los efluentes acuícolas (Fernando y Halwart, 2000) y pueden implementarse en zonas de alta marginación para subsistencia o negocios familiares y el impacto ambiental que se genera es mínimo gracias a la utilización de los efluentes.

Por otro lado, la mayoría de las hortalizas son sensibles o moderadamente sensibles a la salinidad, por lo que se espera una disminución en los rendimientos con niveles moderados de salinidad en la solución de riego (Maas y Hoffman, 1977). Dentro del grupo de las hortalizas de la familia de las solanáceas, el tomate es el más tolerante a la salinidad (anónimo, 2008), lo que hace de esta hortaliza un buen candidato para el cultivo integrado con camarón, además de cultivarse en gran parte del territorio nacional, mostrar aceptación por los consumidores y gozar de buenos precios en el mercado.

Dado que es bien sabido que la salinidad tanto en suelo como en el agua de riego afecta el peso individual del fruto y el rendimiento de las plantas de tomate (Magán *et al*, 2008) deben de buscarse niveles de salinidad tales que se mantenga un equilibrio y lograr producciones óptimas de ambos cultivos.

Los cultivos de camarón y tomate tradicionales han demostrado ser económicamente redituables, pero algo dañinos al ambiente, esto principalmente debido a las descargas de los efluentes de las granjas camaroneras a los cuerpos de aguas receptores, y por el uso de fertilizantes en los campos de cultivos de tomate, es por esto que los cultivos integrales camarón-tomate serían una buena alternativa de producción, logrando cultivos rentables y sustentables con el ambiente.

Otro de los puntos importantes a resaltar, es el ahorro ambiental que se logra al reutilizar los efluentes producidos por la camaronicultura para la producción de tomate. Las plantas de tomate como parte del sistema de producción, funcionan como un biofiltro, asimilando los nutrientes que se encuentran en el efluente de camarón utilizándolos para su crecimiento y reduciendo así la carga de éstos en el agua para ser utilizada de nuevo en el cultivo acuícola. La economía ambiental se

encarga de valorar estos servicios ambientales que no tienen un mercado y que debe asignárseles un precio (Pérez-Espejo *et al.*, 2010).

Entre los métodos existentes para la valuación de los servicios ambientales, se encuentra el método por costo de reemplazo, el cual calcula los costos de sustituir un servicio ambiental por una tecnología manufacturada por el hombre (Hougner *et al.*, 2006). Este método permite centrarse en las funciones de los ecosistemas, además de tener la ventaja de utilizar para la valuación ambiental los precios del mercado (Bräuer y Marggraf, 2003), asimismo presenta resultados válidos de las estimaciones económicas en relación a los servicios ambientales, siempre y cuando cumpla con tres condiciones fundamentales (Shabman y Batie, 1978; Bockstael *et al.*, 2000; Freeman, 2003; Hougner *et al.*, 2006): (i) la tecnología elegida para evaluar el costo de reemplazo, debe ser igual en magnitud y realizar la misma función que el servicio ambiental, (ii) la tecnología substituta debe ser la más barata entre las alternativas de sustitutos del servicio ambiental y (iii) la mayoría de las personas aceptarían cubrir ese costo de reemplazo si ese servicio ambiental ya no estuviera disponible. De tal manera, que conociendo los beneficios privados o monetarios y los beneficios ambientales, se conoce el beneficio neto del proyecto y se determina así su viabilidad.

Con la realización del presente trabajo se pretende evaluar un sistema de cultivo integrado a escala piloto de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con dos tipos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y dos tipos de lechuga (*Lactuca sativa*) a dos niveles de conductividad eléctrica, 2000 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para determinar su viabilidad técnica-económica y su valuación ambiental.

## 2. ANTECEDENTES

A la fecha, existen varios trabajos en los que se ha cultivado camarón en agua de baja salinidad, entre los cuales destacan el de Esparza-Leal *et al.* (2010) en el que se evaluó el rendimiento de *L. vannamei* en respuesta a diferentes densidades (50, 100, 150 y 200 PL/m<sup>2</sup>) y periodos de aclimatación (40, 60, 80 y

100 h), encontrándose una mayor supervivencia (83%) en camarones aclimatados por 100 h y rendimientos más altos ( $1.14 \text{ kg/m}^2$ ) en densidades de siembra de  $200 \text{ PL/m}^2$ , concluyendo que el camarón blanco puede ser cultivado exitosamente en aguas de baja salinidad y que el crecimiento, el rendimiento y la supervivencia son significativamente mayor cuando se aclimata por periodos más largos.

Por otro lado, Esparza-Leal *et al.* (2010) compararon el crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* cultivado en agua de baja salinidad ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) a tres diferentes densidades, 500, 1000 y  $1500 \text{ PL/m}^2$  en tanques con un sistema semi-cerrado de recirculación de agua. En dicho experimento, no se encontraron diferencias significativas en la supervivencia entre los tres tratamientos, mientras que en el peso final si hubo diferencias significativas obteniéndose la menor talla en la densidad de  $1500 \text{ PL/m}^2$ .

En cuanto a la producción de camarón tierra adentro, en agua dulce o con baja salinidad resulta ser una estrategia viable para el desarrollo de la camaronicultura con *Litopenaeus vannamei* en Tailandia desde principios de la década de los noventas (Fast y Menasveta, 2000). En 1998, en dicho país, Braaten y Flaherty (2000) estimaron que más del 40 % de la producción camaronera provenía de ese tipo de granjas. En América, el cultivo de camarón a baja salinidad empezó a desarrollarse en los noventas en Brasil, Estados Unidos y México, utilizando en su mayoría agua proveniente del subsuelo (Bray *et al.*, 1994).

En Ecuador, la producción de camarón con agua a baja salinidad empezó a emplearse en el año 2000 como una alternativa para contrarrestar las pérdidas ocasionadas por los virus de la mancha blanca y taura, en la actualidad existen aproximadamente 60 granjas que adoptaron esa estrategia sembrando en estanques de 0.2 a 0.4 ha con salinidades de  $0.5$  a  $1.2 \text{ g L}^{-1}$ , utilizando densidades en un rango de  $79$ - $120 \text{ PL/m}^2$  para obtener producciones de  $5.9 \text{ t ha}^{-1}$ . Una alternativa de esas granjas para manejar el agua de desecho ha sido la de irrigar cultivos de arroz, maíz, bambú y teca (Moss, 2002).

En los Estados Unidos, las granjas de camarón en agua dulce o baja salinidad, se han desarrollado principalmente en Alabama, Florida, oeste de Texas y Arizona

(Samochoa *et al.*, 1998, 2001, 2002, 2004) utilizando agua de pozo con salinidades de 0.5 a 2.6 g L<sup>-1</sup> y densidades de siembra de 34 a 220 PL/m<sup>2</sup> para obtener producciones tan altas como 12 t ha<sup>-1</sup> y sobrevivencias promedio de 80 %. Al igual que en las granjas de Ecuador, las granjas de Arizona utilizan sus aguas de desecho para irrigar cultivos agrícolas como olivos, maíz, algodón y trigo (Moss, 2002; McIntosh y Fitsimmons, 2003).

Miranda *et al.* (2008) compararon la producción de melón (*Cucumis melo* L.) irrigado con el efluente de una granja camaronícola de baja salinidad contra los irrigados con agua de río, no encontrándose diferencias significativas en el rendimiento del melón ni la calidad de la fruta.

En México, el cultivo de camarón a baja salinidad (0.3 a 12 g L<sup>-1</sup>) empezó a desarrollarse en el Estado de Colima a finales de los noventa. Actualmente existen aproximadamente 100 ha abiertas al cultivo, distribuidas en 19 granjas que tienen un tamaño promedio de 14 ha. En dichas granjas se siembra a una densidad promedio de 60 PL/m<sup>2</sup> y han obtenido tallas y rendimientos promedios de 14 g y 2.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, con una sobrevivencia del 67% (Muñoz, 2005). Sin embargo, en ninguna de esas granjas el agua de desecho es reutilizada para el riego de plantas o cosechas agrícolas como ha sucedido en los países mencionados anteriormente.

Mariscal-Lagarda *et al.* (2012) realizaron un cultivo integral de camarón blanco y tomate bola con agua de pozo (salinidad de 0.9 g/L) añadiéndole sales (Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> y KCl), obteniendo un peso final de 13.9 g, una supervivencia del 56.3%, un factor de conversión alimenticia de 1.6 y un rendimiento de 3.9 t ha<sup>-1</sup>, con una densidad de siembra de 50 PL/m<sup>2</sup> y un periodo de cultivo de 120 días. Mientras que en el cultivo de tomate se obtuvo un rendimiento de 36.9 t ha<sup>-1</sup>, con un peso individual del fruto de 110.6 g, demostrando así la factibilidad técnica de este tipo de cultivos.

En cuanto a cultivo de tomate hidropónico destaca el trabajo de Caro *et al.* (1991) en el cual se cultivaron 8 variedades de tomate bola (*Lycopersicon esculentum*) y 4 variedades de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var *cerasiforme*) expuestos a niveles de conductividad diferentes (añadiendo NaCl),

donde encontraron que las variedades de tomate cherry son más tolerantes a la sal que las variedades de tomate bola; sin embargo, los frutos de tomate cherry también se vieron afectados en una disminución de su rendimiento.

Shi *et al.* (2002) registraron el rendimiento, calidad y propiedades nutritivas de tomate cultivado con tres diferentes niveles de conductividad y suplementando luz artificial, no encontrándose diferencias significativas entre el rendimiento, pero si se observó un incremento en la calidad del fruto con la adición de NaCl a la solución nutritiva para elevar la conductividad eléctrica.

Magán *et al.* (2008) irrigaron tomate con soluciones nutritivas con diferentes niveles de conductividad eléctrica para conocer la respuesta del tomate al incremento de la salinidad, encontrándose que el rendimiento y el peso individual del fruto disminuyen con el aumento de la salinidad, después de rebasar el valor umbral (3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

En aspectos económicos, se encuentra el trabajo de Moss y Leung (2006) en el cual se comparan los costos de producción del cultivo de camarón tradicional en estanques rústicos contra cultivos en sistemas de recirculación acuícola, encontrando ventajas de estos últimos sobre los estanques rústicos y concluyendo que los sistemas de recirculación acuícola son una alternativa viable para el cultivo de camarón. Hernández-Llamas *et al.* (2004) realizaron un estudio bioeconómico de un cultivo de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* durante dos ciclos de cultivo, con una densidad de 67 PL/m<sup>2</sup> (ciclo invierno-primavera) y 65 PL/m<sup>2</sup> (ciclo verano-otoño) obteniendo una tasa interna de retorno máxima del 44% e ingresos netos de \$1,211,000 USD en una granja de 50 hectáreas del sur de Sinaloa.

En cuanto a cultivos integrados, Berg (2002) realizó una comparación en términos económicos de un cultivo tradicional de arroz contra un cultivo integrado de peces con arroz, concluyendo que el cultivo integrado registra un mayor ingreso neto (6% mayor), gracias a los costos más bajos de producción y a los altos rendimientos obtenidos.

Fierro-Sañudo (2011) realizó un análisis financiero de un cultivo integrado de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill), comparando diferentes escenarios de producción y, concluye que la mejor opción en términos económicos es un ciclo de cultivo de camarón largo de 180 días integrado al cultivo de tomate.

En términos de costos ambientales producidos por este tipo de cultivos son pocos los trabajos publicados. En cuanto a cultivo de camarón se refiere, algunos trabajos que destacan son el de Thanh Be *et al.* (1999) en el cual se cuantificaron los costos de salinización y sedimentación, además de comparar con alternativas de producción como es el caso del cultivo integrado de camarón con arroz.

Existe un vacío de información acerca del beneficio ambiental que conllevan los cultivos integrados de camarón y hortalizas, por lo que el presente estudio pretende aportar información útil que además sirva como base para futuras investigaciones.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A pesar de que técnicamente el cultivo de camarón blanco usando agua de baja salinidad ha demostrado ser una alternativa viable de producción y que sus efluentes pueden ser aprovechados para producir de manera integral algunos productos agrícolas, existe una carencia de información sobre si este tipo de sistemas son técnicamente factibles y económicamente viables de llevarse a cabo en una escala rentable, de subsistencia y/o comercial, por lo que se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Es viable científicamente, económicamente y en la práctica el cultivo integral de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y tomate hidropónico (*Lycopersicum esculentum*) con agua de baja salinidad y recambio cero?
- ¿Qué variedad de tomate se adapta mejor al cultivo de camarón y presenta mayores producciones por unidad de área?

- ¿Cuál es la inversión por unidad de área requerida de este sistema integral?
- ¿A partir de que superficie de cultivo el sistema integral camarán-tomate-lechuga comienza a ser rentable?
- ¿Cuál es el beneficio ambiental al utilizar este tipo de sistemas integrados por unidad de producción?

#### **4. HIPÓTESIS**

El cultivo integral de camarón y tomate usando agua de baja salinidad y cero recambio, es científicamente factible y económicamente viable, además de presentar un beneficio ambiental por el uso de los efluentes del cultivo de camarón para la producción de tomate hidropónico.

#### **5. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis de factibilidad técnico-económica de un sistema integral para la producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) usando agua de baja salinidad y baja tasa de recambio con dos tipos de tomate (*Lycopersicon esculentum*), tomate bola y tomate uva

#### **6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar un sistema de cultivo de acuaponía que permita el desarrollo del camarón blanco en tanques con agua a baja salinidad y de las plantas de tomate en un cultivo hidropónico en casa sombra.
- Evaluar el crecimiento y supervivencia del camarón cultivado en agua de mar diluida a dos diferentes niveles de conductividad eléctrica, 2,000  $\mu\text{S/cm}$  ( $1.2 \text{ g L}^{-1}$ ) y 3,000  $\mu\text{S/cm}$  ( $1.9 \text{ g L}^{-1}$ ).

- Evaluar la producción de dos tipos de tomate, a dos niveles de conductividades eléctricas y comparadas con un cultivo de hidroponía (tratamiento control).
- Definir la estructura de los costos de inversión y producción haciendo énfasis en los costos variables y fijos.
- Evaluar la factibilidad económica del sistema mediante los índices de Punto de Equilibrio (PE), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio-Costo (RBC) y Período de Recuperación (PR).
- Realizar proyecciones de producción desde una hasta diez hectáreas tomando en cuenta los datos de producción obtenidos en el cultivo piloto.
- Evaluar el beneficio ambiental por daño ambiental evitado del cultivo piloto utilizando el método de Costo de Reemplazo (CR).

## 7. METODOLOGÍA

En base al desarrollo del presente trabajo, se realizó el siguiente diagrama en el cual se ilustra cada uno de los pasos para cumplir los objetivos del proyecto planteado (Fig. 1).

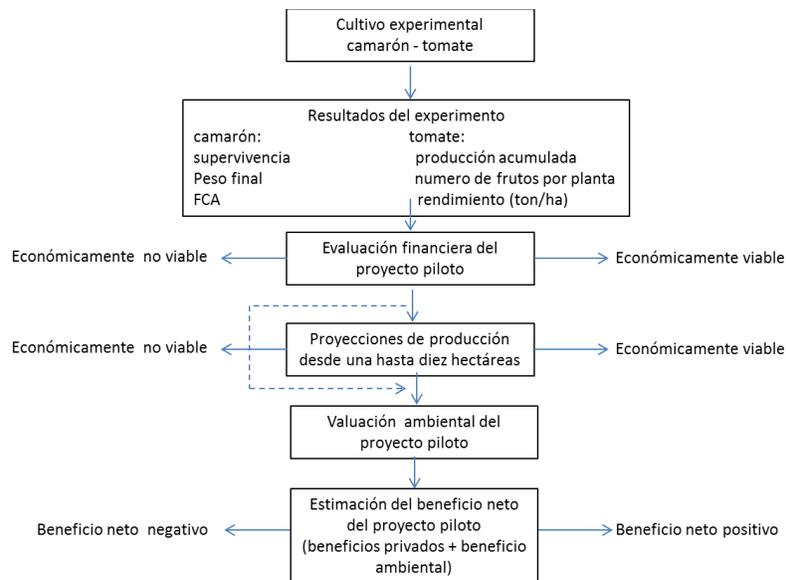


Figura 1. Diagrama representativo al desarrollo del presente trabajo.

## 7.1. Área de estudio

El presente proyecto se desarrolló en el módulo experimental de cultivos acuapónicos Yum Kaax, ubicado en la ciudad y puerto de Mazatlán, en el Estado de Sinaloa (Fig. 2).



Figura 2. Localización del sitio donde se desarrolló el proyecto.

## 7.2. Sistema experimental

El módulo experimental consistió de seis tanques circulares para el cultivo de camarón, divididos en dos baterías de tres tanques cada una y construidos con lona (2 m de diámetro x 1.2 m de altura), lo cual equivale a un volumen de  $3.14 \text{ m}^3$  de agua por tanque. Cada batería irrigó dos camas (0.4 m de ancho, 7 m de largo y 0.2 m de altura) que se utilizaron para el cultivo hidropónico de tomate en casa sombra (Fig. 3). En ellas, se colocó una primera capa de 0.10 m de grava y una segunda de 0.10 m de zeolita, mismas que sirvieron como sustrato para el crecimiento de las plantas. Para abastecer los requerimientos de oxígeno en los estanques con camarón, se dispuso de un aireador de inyección de burbujas (blower) de 1/2 hp.

El agua de los tanques con camarón, se transfirió por gravedad hacia cada una de las camas mediante una manguera hidráulica (manguera ciega) de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro, misma que corría paralela a las camas. Para irrigar las plantas se conectó a la tubería anterior, un pequeño tramo de manguera tipo espagueti por cada planta. El agua de riego se recuperó por gravedad al final de la cama y se

recolectó en una cisterna con capacidad de 15 L, aproximadamente, en la cual se disponía de una bomba sumergible (Evans) de 1/8 hp, que permitió regresar el agua de riego a los estanques de cultivo de camarón.

Paralelo al cultivo de tomate, se colocaron dos camas más como tratamiento control, a diferencia de las cuatro camas anteriores, estas eran irrigadas con solución nutritiva hidropónica propuesta por Samperio-Ruiz (2000).

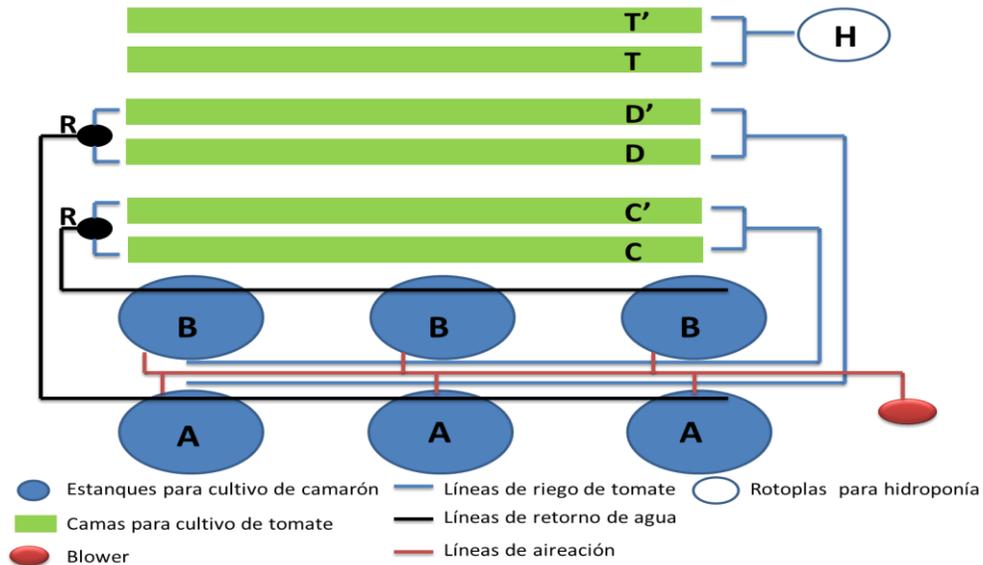


Figura 3. Diseño del sistema de producción utilizado: A, tanques para cultivo de camarón a 3,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; B, tanques para cultivo de camarón a 2,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; C, cama para cultivo de tomate uva; C', cama para cultivo de tomate bola; D, cama para cultivo de tomate uva; D', cama para cultivo de tomate bola; H, tinaco para riego de camas de hidroponía (testigo), T, cama para cultivo de tomate uva (tratamiento control); T', cama para cultivo de tomate bola (tratamiento control); R, cisternas para el agua de riego.

### 7.3. Desarrollo del proceso de producción

#### 7.3.1. Cultivo de camarón

El camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) se seleccionó debido a que entre otros aspectos (Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora, 2001; Ocean Garden, 2003), soporta un amplio rango de salinidades (desde 0.4 hasta aguas

marinas), se desarrolla bien a altas densidades, tiene una gran adaptación en cautiverio, buena aceptación y buen precio en el mercado, además está disponible la semilla en los laboratorios del noroeste del país. El ciclo de producción presentó una duración de 16 semanas (16 agosto al 13 de diciembre del 2011) con agua de una conductividad de 2000 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y se sembró una superficie aproximada de 18.84  $\text{m}^2$ , equivalente a los seis tanques que se mencionaron anteriormente. La densidad de siembra fue de 75 PL/ $\text{m}^2$ , para un total de 1,413 postlarvas con una talla mínima de PL<sub>20</sub> aplicando una tasa de recambio del 1% diario o menos.

#### *7.3.1.1. Preparación de los tanques de cultivo*

Previo a la siembra, los tanques se lavaron con jabón y cloro para desinfectarlos. Se tallaron los fondos y paredes con cepillo de cerdas de plástico y se drenó el agua de desecho. Posteriormente, los tanques se dejaron secar al sol por espacio de tres días y se colocó un tubo de PVC de 1 1/2" de diámetro y 1.1 m de longitud en el centro del tanque para evitar que las postlarvas se escaparan al sembrarlas. Una vez limpios, se llenaron con agua del río Presidio, misma que fue transportada en pipas de 10  $\text{m}^3$ , hasta alcanzar un tirante de 1 m. Para alcanzar la conductividad deseada, a cada tanque se le agregó una cantidad conocida de agua de mar filtrada de 35  $\text{g L}^{-1}$ .

Con el fin de promover la productividad primaria en los estanques, se fertilizaron agregando 10 g de fertilizante P-Nutrilake cuatro días antes de la siembra, ya que el fitoplancton constituye una fuente importante de alimento para las postlarvas (Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2005).

#### *7.3.1.2. Adquisición y transporte de postlarvas*

Las postlarvas empleadas las donó el laboratorio AQUAPACIFIC, S.A. de C.V, ubicado en playa El Caimanero, Rosario, Sinaloa. Para el transporte de las postlarvas, se empacaron en tres bolsas de plástico con 15 L de agua y 2000 postlarvas cada una, regulando su temperatura a 23 °C con hielo y de esa manera

se transportaron en hieleras para mantener su temperatura hasta su transporte al módulo experimental.

### 7.3.1.3. Aclimatación y siembra de postlarvas

Para la aclimatación se dispuso de un sistema de aclimatación constituido de 4 tanques tipo rotoplas de 450 L cada uno, graduados en una escala de 50 L. Uno de estos tanques se colocó a una altura de 1 m para utilizarlo de cisterna de agua dulce para la aclimatación, los demás se alimentaron por gravedad con agua del tanque cisterna por una tubería de PVC hidráulica de ½” y el flujo se reguló con válvulas tipo bola de PVC hidráulico de ½”. Las bolsas de transporte se depositaron dentro de los tanques tipo rotoplas por 1 hora para homogenizar las temperaturas. Una vez que se igualaron las temperaturas del agua, se inició el proceso de aclimatación, para esto, se añadió paulatinamente agua del tanque cisterna a los tanques aclimatadores de acuerdo a Van Wyk (1999); McGraw y Scarpa (2004); Davis *et al.* (2002); Balbi *et al.* (2005) (Tabla 1).

Tabla 1. Velocidad de aclimatación dependiendo de la salinidad (adaptado de Van Wyk, 1999).

Cambios de salinidad	Tiempo (horas)	Velocidad de reducción ‰/hora
32 a 16	8	2
16 a 8	8	1
8 a 4	8	0.5
4 a 2	8	0.25
2 a 1	8	0.125
1 a 0.5	8	0.063

Durante el proceso de aclimatación se alimentó a las postlarvas con alimento balanceado (S-PAK, 40% de proteína, 6% de lípidos y 3% de fibra) y se realizaron limpiezas diarias del tanque para eliminar el alimento no consumido y evitar un deterioro en la calidad del agua. Se llevó a cabo un registro de las variables físico-químicas como temperatura, salinidad, oxígeno y pH (para el oxígeno disuelto y

temperatura se empleó un oxímetro YSI DO200, para conductividad eléctrica un potenciómetro combo HANNA instruments (HI 98129) y para el pH se utilizó un potenciómetro marca pHtestr 1, así como el estado de salud de las post-larvas; observando su color y actividad. Una vez alcanzada la aclimatación, las postlarvas se trasladaron a los tanques de crecimiento, a una densidad de siembra de 75 PL/m<sup>2</sup>.

#### 7.3.1.4. Monitoreo de la calidad del agua

De acuerdo a Reid y Arnold (1992), Davis y Arnold (1998), Van Wyk (1999), el monitoreo del agua se realizó con el propósito de verificar que las condiciones sean las óptimas para el buen desarrollo del organismo y poder tomar decisiones de emergencia, en caso de presentarse cualquier problema con la calidad del agua. Las variables que se tomaron se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de calidad del agua monitoreadas durante el ciclo de cultivo.

Variable	Hora	Frecuencia
Oxígeno disuelto	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Temperatura	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
pH	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Conductividad Eléctrica	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Amonio no ionizado	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana
Nitrito	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana
Nitrato	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana

Para determinar las variables físico-químicas se utilizaron diferentes equipos, para el oxígeno disuelto y temperatura se empleó un oxímetro YSI DO200, para determinar conductividad eléctrica un potenciómetro combo HANNA instruments (HI 98129) y para el pH se utilizó un potenciómetro marca pHtestr 1.

### 7.3.1.5. Alimentación

El alimento que se utilizó a lo largo del cultivo fue camarón (35% de proteína), las primeras 6 semanas se molió con el fin de obtener porciones más pequeñas acorde a la talla del camarón. La cantidad de alimento suministrado diariamente se hizo con base a un porcentaje de la biomasa de los camarones y se aplicaron en tres raciones al día (07:00, 13:00 y 20:00) (Reid y Arnold, 1992; Davis y Arnold, 1998; Van Wyk, 1999). La alimentación se realizó aplicando la técnica de comederos distribuyendo el alimento en dos comederos por tanque y antes de cada suministro de alimento, se revisó el remanente en cada comedero haciendo un ajuste en la alimentación como se muestra en las Tablas 3 y 4 si fue necesario (Zendejas-Hernández, 1994).

Tabla 3. Escala para tipificar la cantidad de alimento remanente después de un tiempo específico (Zendejas-Hernández, 1994).

Cantidad de alimento observado	Valor
Sin remanente	0
Poco remanente (<12.5%)	1
Moderado remanente (12.5-25%)	2
Considerable remanente (>25%)	3

Tabla 4. Valores para ajustes de la tabla de alimentación sobre valores promedio observados en los comederos (Zendejas-Hernández, 1994).

Valor promedio procedente de los comederos	Ajustes a la tasa de alimentación
Promedio >2	Reducir la tasa de alimentación en 30%
Promedio >1	Reducir la tasa de alimentación en 20%
Promedio = 0.5-1	Mantener la tasa de alimentación
Promedio >0.5	Incrementar la tasa de alimentación en 10%

### 7.3.1.6. Biofiltro sumergido

Se construyó un biofiltro sumergido con malla sombra y un peso muerto de PVC y cemento, su función fue de proveer de un sustrato para las bacterias

nitrificantes, además que la biopelícula que coloniza la malla sirve de alimento para los camarones en cultivo.

Este biofiltro consistió en 14 tiras de malla sombra (sección de malla de 1.5 m de ancho por 3.0 m de largo) sujetas de un contrapeso; las dimensiones de la malla se calcularon en base a la superficie de contacto con las paredes y fondo de los tanques, es decir, se decidió duplicar la superficie de contacto para las bacterias tomando en cuenta ambas caras de la malla (Van Wyk, 1999). Para mantener erguido el biofiltro se colocaron dos flotadores y un tubo de PVC hidráulico de 6" para mantener una zona de oscuridad que favoreciera el crecimiento bacteriano. Se canalizó la aireación por medio del biofiltro con la ayuda de un tramo de manguera difusora atado desde la base del biofiltro, mismo que se conectó de la línea de aireación del sistema. En la figura 4 se muestra un diseño del biofiltro sumergido implementado para el sistema.

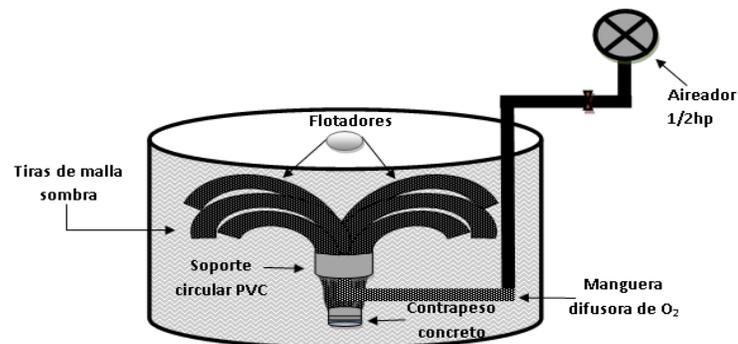


Figura 4. Biofiltro sumergido implementado en el cultivo integral camarón-tomate-lechuga con base a lo propuesto por Van Wyk (1999).

#### 7.3.1.7. Crecimiento y cosecha

El muestreo de crecimiento se realizó semanalmente, a partir de que el camarón alcanzó 1.5 g de peso consistió en tomar una muestra de 10 camarones y se determinó su peso individual promedio por cada tanque. Al acercarse el período de la cosecha, se realizaron muestreos continuos con la finalidad de

determinar si el camarón se encontraba listo para ser cosechado, presentaba un buen estado de salud, en intermuda o si se encontraba mudando.

### *7.3.2. Cultivo de tomate*

Las plantas que se seleccionaron para el cultivo hidropónico corresponden a tomate (*Lycopersicon esculentum*) tipo bola y tipo uva debido a que (Samperio-Ruiz, 2000):

- Es una hortaliza de alta demanda a nivel mundial.
- Se cultiva en varias zonas agrícolas de México, como el valle de Culiacán, valle del Fuerte, sur de Sonora y en invernaderos hidropónicos establecidos en la costa de Hermosillo.
- Se comercializa en el mercado local, nacional e internacional ya sea fresca o industrializada.
- Son cultivos altamente rentables.
- Tiene excelente aceptación en el mercado por ser productos de alta calidad (color, forma, textura, tamaño).
- Se obtienen producciones mayores por unidad de superficie.
- Se produce durante todo el año en el sistema hidropónico.

Las plantas que se adquirieron se obtuvieron a partir de semillas certificadas de crecimiento determinado para el caso del tomate uva e indeterminado para el caso del tomate bola. La semilla se adquiere con los proveedores locales, nacionales o extranjeros siempre y cuando se garantice una alta calidad.

#### *7.3.2.1. Transporte y siembra de las plántulas*

Las plántulas utilizadas para el experimento las donó Agrícola Chaparral S. de P.R de R.L. y constó de dos tipos de tomate, tomate uva. Las plántulas se transportaron en semilleros de 240 cavidades hasta el módulo experimental. Una

vez en el módulo, se procedió con la siembra en sus respectivas camas, hasta que el cultivo de camarón cumplió 30 días (a partir de su siembra), esto con el fin de regar el tomate con agua enriquecida en nutrientes aprovechables para la planta. Se sembraron una cama con cada variedad para cada batería de estanques de cultivo de camarón, a una densidad de siembra de 2.5 plantas/m, para un total de 36 plantas por cama.

#### *7.3.2.2. Entutorado o guiado de la planta*

Debido a que el crecimiento del tomate es hacia arriba, se proporcionó una guía o tutor para que las plantas se mantuvieran erguidas, mejorando de esta manera la aireación y el mejor aprovechamiento de la radiación solar, así como las diferentes labores de cultivo. El material empleado como guía fue hilo de polipropileno (rafia) sujetando un extremo a la zona basal de la planta mediante el uso de un anillo de plástico y el otro extremo a un alambre situado aproximadamente a 2 m de altura de las plantas; conforme las plantas crecieron se fueron liando.

#### *7.3.2.3. Deshoje, podas y cosecha*

Estas actividades se realizaron de manera manual: para el caso del tomate el deshoje tuvo la función de eliminar las hojas que se encontraban situadas por debajo del racimo de frutos y así mantener una buena oxigenación en la planta. Durante la poda se erradicaron los crecimientos laterales para que la planta se mantuviera con un solo tallo. Para iniciar con la cosecha del fruto, el tomate presentó una coloración rojiza (Samperio-Ruiz, 1999; Rackocy *et al.*, 1992; McMurtry, 1997).

### 7.3.3. Cultivo de Lechuga

De forma adicional, se implementó un cultivo de lechuga hidropónico con raíz flotante dentro de los tanques de cultivo de camarón, una vez que éstos fueron cosechados, con la finalidad de probar si los niveles de conductividad y las aguas manejadas a lo largo de cultivo eran aptos para el desarrollo de esta hortaliza.

Se pusieron a flotar 9 lechugas (*Lactuca sativa*) de dos tipos diferentes en una plancha de poliuretano de 1 m<sup>2</sup> en cada tanque un día después de la cosecha del camarón por un periodo de 30 días. Como tratamiento control, se pusieron a flotar 9 lechugas en una cama hidropónica con la misma solución utilizada en el riego del tomate.

Al final, cada lechuga fue pesada individualmente y se compararon los crecimientos obtenidos por cada tipo en los tres tratamientos.

## 7.4. Evaluación del sistema de producción propuesto

Al terminar el ciclo de cultivo, se evaluó el peso individual promedio en gramos de cada módulo de tanques de camarón; así como su supervivencia, el crecimiento en gramos por semana, la tasa de crecimiento específico, el factor de conversión alimenticia y el rendimiento en toneladas por hectárea, para determinar cuál de los dos tratamientos presentó mejores resultados. El crecimiento en gramos por semana fue calculado con la fórmula propuesta por Araneda *et al.* (2008):

$$\text{Crecimiento (g/semana)} = (W_f - W_i)/t$$

Donde  $W_f$  es el peso final de los organismos,  $W_i$  es el peso inicial y  $t$  el tiempo de cultivo en semanas.

Para el caso de la supervivencia se obtuvo con la siguiente fórmula (Esparza-Leal *et al.*, 2010):

$$\text{Supervivencia \%} = (\text{organismos cosechados/organismos sembrados}) * 100$$

se contabilizaron los organismos cosechados de cada tanque y se calculó el valor de supervivencia para cada uno de los tanques. La tasa de crecimiento específico se calculó de acuerdo con Moreira *et al.* (2011):

$$\text{Tasa de crecimiento específico} = (\ln (w_f) - \ln (w_i)) * 100 / t$$

Donde  $w_f$  es el peso final del camarón,  $w_i$  es el peso inicial de siembra de la postlarva y  $t$  es el tiempo en días del cultivo de camarón.

El factor de conversión alimenticia (FCA) indica la cantidad de alimento balanceado necesario para engordar un kilogramo de camarón y se calculó dividiendo la cantidad de alimento balanceado en cada tanque entre la producción en biomasa mediante la siguiente fórmula (Smith *et al.*, 2002):

$$\text{FCA} = \text{Alimento balanceado consumido} / \text{biomasa producida}$$

De igual manera, se determinó la producción de cada variedad de tomate en los dos niveles de conductividad eléctrica, tomando en cuenta el peso individual promedio del fruto (g), número de tomates por planta, producción por planta (g/planta) y la producción por unidad de área ( $\text{t ha}^{-1}$ ); los resultados se compararon con los del tratamiento control de hidroponía. Con lo anterior, se determinó el sistema más factible técnicamente.

#### *7.4.1. Análisis estadístico de los datos de producción*

Los datos de producción de camarón se analizaron con una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y una vez comprobado se prosiguió con una prueba de  $t$  de Student para determinar diferencias significativas entre ambos tratamientos.

Para tomate, los datos se analizaron con una prueba de Kolmogorov-Smirnov para verificar normalidad y, dado el caso que los datos de producción de tomate no fueron normales, realizó un análisis de varianza de una vía en rangos Kruskal-Wallis y una prueba posteriori de Dunn's para identificar diferencias significativas entre los tratamientos (Zar, 2004).

## 7.5. Estructura de los costos

Los costos de producción se dividieron en costos de inversión y costos de operación proyectándolos a diferentes escalas. Los costos de inversión se tomaron como activos fijos (obra civil, equipo auxiliar, equipo de servicio, mobiliario y equipo de oficina y equipo de transporte) y activos diferidos, mientras que en los costos de operación (variables y fijos) se consideraron materia prima, combustibles y lubricantes, mano de obra, gastos administrativos, previsión social, seguros y capacitación. Los costos de inversión así como los de operación se presupuestaron con los precios del mercado local. Las proyecciones de producción para cada tamaño de granja se realizaron empleando los resultados obtenidos durante el ciclo de cultivo de camarón y ambos tipos de tomate.

## 7.6. Análisis de factibilidad

Para determinar la rentabilidad del sistema integral, se llevó a cabo una evaluación financiera con los siguientes datos: inversión total, precios de venta para el producto, costos variables y costos fijos. Con la información obtenida, se elaboró un estado de resultados para determinar los indicadores: Punto de Equilibrio de la producción (PE), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio Costo (RBC) y Período de Recuperación (PR). El cálculo de los indicadores se realizó de acuerdo con Shang (1990), Nafinsa-OEA (1998), Engle y Valderrama (2001) con las siguientes ecuaciones:

PE en pesos= amortización + costos de operación

PE en % = (PE en pesos/ventas)\*100

VPN=  $\sum$  Flujo de efectivo/(1+tasa de interés)<sup>n</sup>

RBC = Flujo de efectivo/ inversión

PR = inversión/utilidad

De igual manera, se realizaron proyecciones de producción desde una hasta diez hectáreas para determinar a partir de que superficie de cultivo el sistema integral comienza a ser rentable (con una relación de camarón, tomate y lechuga de 1:1:1; es decir, una hectárea de camarón, por una hectárea de tomate y una hectárea de lechuga). Cabe señalar que en el caso de las lechugas, solo se tomó en cuenta la lechuga orejona para las proyecciones de producción y análisis financieros, ya que es la lechuga que se principalmente se cultiva de manera hidropónica y fue la que mejores resultados registro en el presente experimento.

### 7.7. Cálculo del beneficio ambiental

En base al método del costo de reemplazo, se prosiguió de la siguiente manera, primero, se calculó el beneficio ambiental y debido a que el proyecto utilizó energía eléctrica para su funcionamiento, se calculó el costo ambiental por dicho consumo de energía, para de esta manera obtener el beneficio ambiental neto. En la figura 5 se muestra el procedimiento utilizado para calcular el beneficio ambiental por daño ambiental evitado.

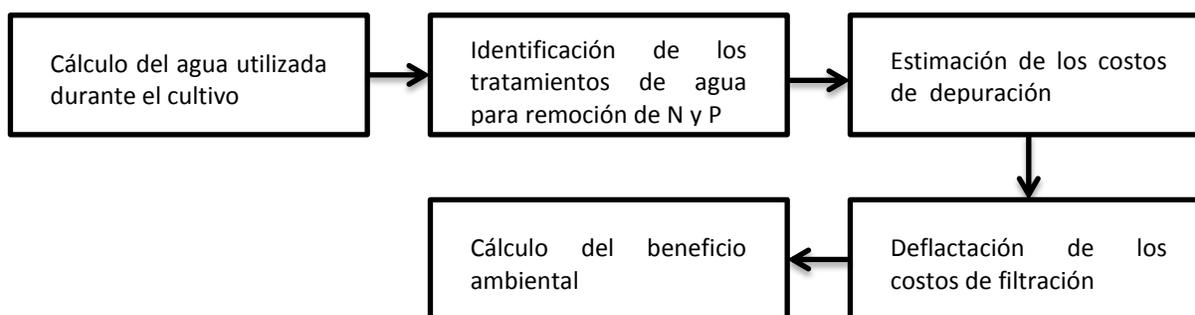


Figura 5. Diagrama del procedimiento para estimar el beneficio ambiental.

#### 7.7.1. Cálculo del agua utilizada durante el cultivo

A lo largo del cultivo, se llevó el registro del agua utilizada para el cultivo de camarón por cada tanque (agua de llenado y reposiciones) y se sumó para determinar el volumen de agua utilizado por cada tanque.

### 7.7.2. Identificación de los tratamientos de agua

La principal función de las plantas de tomate dentro del sistema, es la remoción del nitrógeno y fósforo del agua, para ser reutilizada en el cultivo de camarón. Cabe mencionar que las camas de tomate empacadas con zeolita y grava también sirvieron como trampa de sólidos suspendidos, según los análisis de calidad del agua que se tomaron en el experimento.

Según Manahan (2000) el tratamiento en el que se remueven los compuestos inorgánicos como nitratos y fosfatos, es el tratamiento terciario, es por ello que se eligió este tratamiento de agua como el sustituto de la función de las plantas de tomate. Las concentraciones de los principales nutrientes disueltos en el agua de cultivo de camarón para que estos no causen daños a los organismos en cultivo no deben de sobrepasar en ciertos niveles, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Concentraciones máximas recomendadas de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos en cultivo de camarón.

Variable de calidad del agua	Máximo valor recomendado	Referencia
Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )	$\leq 1 \text{ mg L}^{-1}$	Van wyk y Scarpa (1999)
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	$\leq 60 \text{ mg L}^{-1}$	Van wyk y Scarpa (1999)
Amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ )	$\leq 0.03 \text{ mg L}^{-1}$	Van wyk y Scarpa (1999)
Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	$\leq 0.2 \text{ mg L}^{-1}$	Boyd (1990)

Se recomienda que dichas concentraciones no se sobrepasen en el cultivo de camarón, ya que valores más altos pueden causar efectos adversos en la salud del organismo e inclusive llegar a provocar la muerte. Es por ello, que se necesita una depuración muy eficiente del agua, lo cual justifica una depuración con el tratamiento terciario.

### 7.7.3. Estimación de los costos de filtración

Para determinar los costos de filtración, se realizó una consulta bibliográfica con base a costos de filtración de distintas plantas de tratamiento de agua. Debido a que en la bibliografía se utilizan diferentes unidades de medición, se estandarizaron todos los datos a una misma unidad ( $m^3$ ) y se prosiguió con el cálculo del costo de filtrar  $1 m^3$  agua para cada uno de los casos. Esto se realizó para costos de operación así como para los costos de inversión.

### 7.7.4. Deflactación de los costos de depuración

Debido a que los costos de filtración que se obtuvieron de la bibliografía eran de años anteriores, se necesitó actualizar dichos costos, para lo cual se utilizó la fórmula de deflactación de los precios que se muestra a continuación (Aguilar *et al.*, 2013):

$$\text{Precio actual} = \text{precio} * (\text{INPPactual} / \text{INPPpasado})$$

Los índices nacionales de precios al productor (INPP) se consultaron en la base de datos del INEGI ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), 2012). El INPP pasado corresponde al índice de precios al productor del año y mes del dato bibliográfico, mientras que el INPP actual corresponde al índice de precios al productor del mes y año en el que se terminó el experimento. Este índice es un conjunto de indicadores de precios, cuya finalidad es proporcionar mediciones sobre la valoración de los precios de una canasta fija de bienes y servicios representativa de la producción nacional (Banco de México, 2010). Con este proceso se pretende eliminar el efecto de la inflación a través del tiempo y hacer uso de estos.

### 7.7.5. Cálculo del beneficio ambiental

Una vez deflactados los precios, se prosiguió a calcular el beneficio ambiental por daño ambiental evitado mediante la siguiente fórmula (Aguilar *et al.*, 2013):

$$\text{Beneficio ambiental} = \text{consumo de agua} * \text{precio de depuración deflactado}$$

Para reducir la incertidumbre de los cálculos se trabajó con el valor mínimo y máximo registrado de los precios de filtración deflactados.

#### 7.7.6. Cálculo del costo ambiental

Dado que el sistema experimental necesitó energía eléctrica para el funcionamiento del blower y bombas sumergibles, se determinó el costo ambiental producido por dicho consumo. En la siguiente figura, se muestra el procedimiento que se utilizó para calcular este costo:

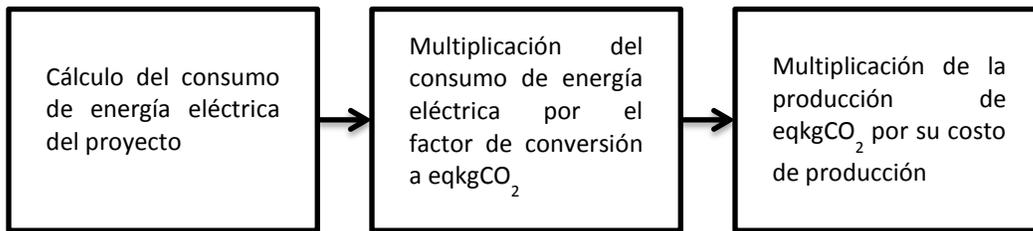


Figura 6. Diagrama del procedimiento para estimar el costo ambiental.

El consumo de energía eléctrica tanto del blower como de las bombas sumergibles se calculó a partir de la información proporcionada por el proveedor en la etiqueta de los equipos. Las unidades de consumo se convirtieron a kWh y se multiplicaron por el número de horas que funcionaron a lo largo del cultivo.

Una vez calculado el consumo eléctrico, se multiplicó por el factor de conversión a eqkgCO<sub>2</sub> propuesto por la empresa Carbon Trust ([www.carbontrust.co.uk](http://www.carbontrust.co.uk), 2012). Después se multiplicó el consumo convertido en eqkgCO<sub>2</sub> por su costo de producción propuesto por [www.bluenext.eu](http://www.bluenext.eu) (2011) resultando así el costo ambiental generado por el sistema.

### 7.7.7. Cálculo del beneficio ambiental neto

El beneficio ambiental neto se calculó por diferencia entre el cálculo del beneficio ambiental y el costo ambiental con la siguiente fórmula:

$$\text{Beneficio ambiental neto} = \text{beneficio ambiental} - \text{costo ambiental}$$

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Cultivo de camarón

Se obtuvo un peso final promedio de camarón para el módulo de 3000  $\mu\text{S/cm}$  (módulo 1) de  $9.1 \pm 0.2$  g y un rendimiento de  $6.1 \pm 0.5$  t ha<sup>-1</sup>, mientras que para el módulo de 2000  $\mu\text{S/cm}$  (módulo 2) se obtuvo un peso final de  $11.0 \pm 1.5$ g y un rendimiento de  $3.8 \pm 0.4$  t ha<sup>-1</sup>. Para el caso del peso final, no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), mientras que para el rendimiento si se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ambos tratamientos, siendo mayor el del módulo 1 (Tabla 5) que el del módulo 2.

Tabla 6. Datos promedio de producción para el cultivo de *L. vannamei* obtenidos durante el cultivo integrado de camarón y dos variedades de tomate usando agua de baja salinidad.

	Módulo 1	Módulo 2
Densidad de siembra (PL/m <sup>2</sup> )	75	75
Días de cultivo	120	120
Peso inicial (g)	$0.045 \pm 0.002$	$0.045 \pm 0.002$
Peso final (g)	$9.1 \pm 0.2^b$	$11.0 \pm 1.5^a$
Crecimiento (g/semana)	$0.54 \pm 0.01^b$	$0.65 \pm 0.09^a$
Tasa de crecimiento específico (%/día)	$4.4 \pm 0.04^b$	$4.5 \pm 0.07^a$
Supervivencia (%)	$90.1 \pm 7.0^a$	$46.8 \pm 9.9^b$
FCA	$1.6 \pm 0.2^b$	$2.3 \pm 0.2^a$
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	$6.1 \pm 0.5^a$	$3.8 \pm 0.4^b$

Medias con letras diferentes entre líneas son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) entre el módulo de 2000 y 3000  $\mu\text{S/cm}$ . FCA = factor de conversión alimenticia.

Se registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el crecimiento en gramos por semana, mostrando un mayor crecimiento el módulo 2. El factor de conversión alimenticia (FCA) fue de 1.6 para el módulo 1, lo que implica que por cada kilogramo de camarón se requirieron 1.6 kg de alimento balanceado, mientras que en el módulo 2 el FCA fue de 2.3, siendo mayor este último de acuerdo a los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ). En cuanto a supervivencia si se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), el módulo 1 presentó una supervivencia más alta que el módulo 2, siendo esta del 90.0 y 46.8 %, respectivamente.

El crecimiento de camarón en ambos tratamientos, se mantuvo muy similar durante las primeras semanas del cultivo, sin embargo, a partir de la semana 9, se observó que el módulo 2 presentó un ligero incremento en el peso individual de los organismos con respecto al otro módulo y a partir de ahí las curvas de crecimiento de ambos tratamientos se separan como se muestra en la figura 7. A pesar de que los dos tratamientos presentan un crecimiento individual diferente, su curva de crecimiento fue muy similar y presentó el mismo patrón. Por otro lado, se observó que el crecimiento se vuelve más lento a partir de las semana 14, lo cual coincide con la disminución de la temperatura (aproximadamente de 5 °C) en los estanques de cultivo.

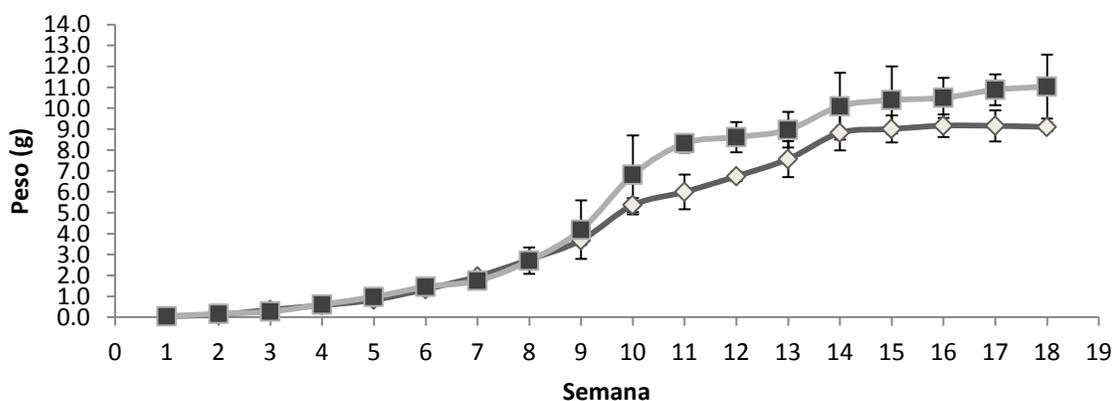


Figura 7. Crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* cultivado en agua de baja salinidad y a dos diferentes niveles de conductividad. Cuadros rellenos en color negro se refiere al módulo de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; rombos rellenos de color gris se refiere a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En la Tabla 7 se muestran los datos de producción de diferentes cultivos de *L. vannamei* en agua de baja salinidad ( $1-10 \text{ g L}^{-1}$ ) y agua dulce ( $<1 \text{ g L}^{-1}$ ). En cultivos de agua dulce se alcanzan crecimientos en g/semana que van desde 0.38 a 1.30 g/semana, mientras que en agua de baja salinidad se alcanzan mayores crecimientos, hasta 1.70 g/semana. Cultivos en agua de baja salinidad logran tallas de cosecha de hasta 19.3 g, supervivencias de 46.8 a 98.8% y rendimientos de hasta  $11.1 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en cultivos de agua dulce se alcanzan tallas de 19.3 con supervivencias desde 47.0 a 99.2 y rendimientos de  $7.8 \text{ t ha}^{-1}$  según lo registrado por diversos autores.

Cultivos realizados con salinidades similares al presente trabajo, destacan los de Samocha *et al.* (1998, 2004) y Mariscal-Lagarda *et al.* (2007; 2010; 2012), en estos se observan pesos finales superiores a los obtenidos en la presente investigación, lo cual se debe a la diferencia de densidades empleada (Samocha *et al.*, 1998 y Mariscal-Lagarda *et al.*, 2007, 2010) siendo inferior a la que se empleó en el presente estudio y además en algunos casos se realizan pre-engordas, por lo cual se siembran organismos de mayor talla (Samocha *et al.*, 1998, 2004).

Los porcentajes de supervivencia obtenidos en el presente trabajo son comparables con los obtenidos en estudios referidos previamente: por ejemplo, el módulo 1 mostró una supervivencia de 90%, por debajo de lo publicado por Samocha *et al.* (1998) y Green *et al.* (2008), mientras que el módulo 2 tuvo una supervivencia similar a lo encontrado por Green *et al.* (2008). En cuanto a rendimiento, se observan resultados superiores a la mayoría de los referidos en la Tabla 6, solo los trabajos de Samocha *et al.* (2004) y Araneda *et al.* (2008) registran rendimientos superiores en cultivos de agua de baja salinidad y agua dulce, respectivamente.

Los resultados obtenidos en el módulo 1 son superiores a los registrados por Mariscal-Lagarda *et al.* (2012) en cuanto a supervivencia y rendimiento, esto posiblemente se debe a la diferente agua utilizada en ambos cultivos, ya que en este caso, el agua empleada de mar diluida y en el trabajo antes mencionado fue

agua de pozo, según Boyd y Tunjai (2003), Boyd *et al.* (2003) y Wudtisin y Boyd (2011) el camarón marino sobrevive y crece bien en agua de baja salinidad donde las concentraciones de los cationes especialmente potasio son similares a las concentraciones de agua de mar diluida a esa salinidad, que fue el presente caso. En el módulo 2 los resultados fueron inferiores, esto se debe a la concentración menor de sales disueltas en el agua de cultivo. Laramore *et al.* (2001) realizaron experimentos con camarón blanco a diferentes salinidades con agua de mar diluida (0, 0.5, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 30 g L<sup>-1</sup>) analizando la supervivencia en 18 y 40 días, encontrando que con cultivos por debajo de 2 g L<sup>-1</sup>, disminuye la supervivencia considerablemente, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

En la Tabla 8 se muestran datos de producción y uso del agua en cultivos semi-intensivos e intensivos de diferentes especies de camarón en diferentes salinidades. El recambio empleado fue muy bajo (1%), solo el necesario para regar las plantas de tomate y el de reposición por evaporación, a pesar de ello el rendimiento fue mejor o muy parecido y este consumo disminuye todavía más al sumarle la producción de tomate de ambos tipos.

Hopkins *et al.* (1993) registraron rendimientos de 5.7, 6.4 y 3.2 t ha<sup>-1</sup> con consumo de agua de 640, 9 y 6 m<sup>3</sup>/kg de camarón con recambios que van desde el 25 hasta el 0%. En el presente trabajo, los rendimientos alcanzados son similares pero con un consumo de agua más bajo (3.0 m<sup>3</sup>/kg de camarón, para el módulo 1 y 4.8 m<sup>3</sup>/kg de camarón para el módulo 2) esto posiblemente se debe a que en este trabajo se utilizó una densidad de siembra más alta.

Casillas-Hernández *et al.* (2006) registraron un consumo de 62-71 m<sup>3</sup>/kg de camarón con un recambio del 15% y rendimiento de 3.1 t ha<sup>-1</sup>. Páez-Osuna *et al.* (1997) obtuvieron un consumo de agua de 17-22 m<sup>3</sup>/kg de camarón para un recambio de 4% con un rendimiento de 1.8 t ha<sup>-1</sup>, mientras que Thi-Anh *et al.* (2010) cosecharon 3.6 t ha<sup>-1</sup> con un recambio de 10 al 15% y un consumo de agua de 6.7 a 9.8 m<sup>3</sup>/kg de camarón cosechado.

Mariscal-Lagarda *et al.* (2012) obtuvieron un consumo de agua de 4.7 m<sup>3</sup>/kg de camarón y 2.1 m<sup>3</sup>/kg de camarón más tomate, como se observa ambos consumos se encuentran ligeramente por arriba a los registrados en el presente trabajo, esto probablemente se debe a la densidad de siembra utilizada y a que en el presente caso se acoplaron dos variedades de tomate a un mismo módulo, por lo que la producción de tomate es mayor.

Tabla 7. Datos de producción de cultivos en agua de baja salinidad y cultivos en agua dulce de camarón blanco *L. vannamei* a densidades de siembra semi-intensivas e intensivas.

	Salinidad g L <sup>-1</sup>	Densidad (PL/m <sup>2</sup> )	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Supervivencia (%)	FCA	Duración (días)	Talla (g)	Crecimiento (g/semana)	Referencia
<b>Baja salinidad</b>									
	0.5-7.0	60	2.9	68.4	1.4	91	11.2	0.37	Wudtisin y Boyd (2011)
	0.5-7.0	65	2.3	56.9	1.9	72	8.7	0.29	Wudtisin y Boyd (2011)
	4.0	27	5.2	98.8	-	77	19.3	1.70	Samocha <i>et al.</i> (1998)
	2.2	91	11.1	66.9	2.8	100	18.5	1.36	Samocha <i>et al.</i> (2004)
	2.0	27	5.2	98.8	-	77	19.0	1.67	Samocha <i>et al.</i> (1998)
	1.8	13	1.3	61.5	-	77	15.6	1.41	Mariscal -Lagarda <i>et al.</i> (2007,2010)
	1.2*	75	3.8	46.8	2.3	120	11.1	0.65	Presente estudio
	1.9*	75	6.2	90.0	1.6	120	9.1	0.54	Presente estudio
<b>Agua dulce</b>									
	0.6*	90	7.8	76.1	-	203	11.4	0.38	Araneda <i>et al.</i> (2008)
	0.5	100		77.0	1.6	180	14.1	0.55	Van Wyk <i>et al.</i> (2000)
	< 1	50	3.3	82.5	-	84	8.1	0.70	Esparza-Leal <i>et al.</i> (2010)
	0.7	39	3.5	47.0	3.0	112	19.3	1.30	Green (2008)
	0.7	23	0.98	82.3	1.9	55	5.5	0.90	Green (2008)
	0.7	28	2.4	99.2	1.2	65	9.0	1.30	Green (2008)
	0.9	50	3.9	56.3	1.6	120	14.0	0.73	Mariscal-Lagarda <i>et al.</i> (2012)

\*Valor calculado a partir de lo especificado por Boyd (2002).

Tabla 8. Datos de producción, tasas de recambio y consumo de agua en cultivos en agua de baja salinidad y cultivos en agua dulce de diferentes especies de camarón a densidades de siembra semi-intensivos e intensivos.

especie	Salinidad (g L <sup>-1</sup> )	Densidad (PL/m <sup>2</sup> )	Recambio de agua (%)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Duración (días)	Uso de agua <sub>3</sub> m <sup>3</sup> por kg de camarón	Referencia
<i>Litopenaeus setiferus</i>	22.9	40	25.0	5.7	140	640	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>Litopenaeus setiferus</i>	21.8	40	2.5	6.4	140	9	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>Litopenaeus setiferus</i>	18.3	20	0.0	3.2	140	6	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	37.5	14	4.0	1.8	130	17-22	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1997)
<i>Penaeus monodon</i>	20-30	20-30	10-15	3.6	100-120	6.7-9.8	Thi-Anh <i>et al.</i> (2010)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	36.0	15	15.0	3.1	203	62-71	Casillas Hernández <i>et al.</i> (2006)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	42.5	20	12.7	2.0	190	113	Miranda-Baeza <i>et al.</i> (2007)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	1.8	13	0.0	1.3	77	64	Mariscal-Lagarda <i>et al.</i> (2010)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.86	50	1.0	3.9	120	4.7 (2.1)	Mariscal-Lagarda <i>et al.</i> (2012)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	1.9*	75	1.0	6.1	120	3.0 (0.70)	Presente estudio
<i>Litopenaeus vannamei</i>	1.2*	75	1.0	3.8	120	4.8 (0.91)	Presente estudio

\*Valor calculado a partir de lo especificado por Boyd (2002). Los datos de consumo de agua entre paréntesis se refieren al cálculo tomando en cuenta la producción de tomate más producción de camarón

## 8.2. Cultivo de tomate

En el presente trabajo los rendimientos obtenidos fueron bajos, esto se debe a una combinación de factores involucrados, entre los que se incluye el tipo de agua utilizada para el cultivo integral (agua de mar diluida), presencia de plagas (mosquita blanca y gusano barrenador) y a la ubicación de la casa sombra empleada para el cultivo, donde se redujo el número de las horas-luz disponible para las plantas.

### 8.2.1. Cultivo de tomate uva

En la Tabla 9 se resumen los datos de producción de tomate uva en los tratamientos irrigados con efluente de camarón y el tratamiento control.

Tabla 9. Datos de producción para tomate uva obtenidos durante el cultivo integrado de camarón con agua de baja salinidad.

	Módulo 1	Módulo 2	Tratamiento control
Número de tomates por planta	64.6±58.0 <sup>ab</sup>	45.9±14.2 <sup>b</sup>	103.4±75 <sup>a</sup>
Producción por planta (g/planta)	203.8±203.0 <sup>ab</sup>	137.1±47.3 <sup>b</sup>	395.7±301.2 <sup>a</sup>
Peso individual del fruto (g)	3.2±0.5 <sup>b</sup>	2.9±0.4 <sup>b</sup>	4.2±1.6 <sup>a</sup>
Talla de las plantas (cm)	88.8±38.1 <sup>b</sup>	106±41.9 <sup>a</sup>	111.2±47.9 <sup>a</sup>
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	8.5±8.4 <sup>ab</sup>	5.7±2.0 <sup>b</sup>	16.4±12.5 <sup>a</sup>

Medias con letras diferentes entre líneas son significativamente diferentes entre sí (P<0.05).

Para número de tomates por planta, producción por planta, producción acumulada por cama y rendimiento, no se encontraron diferencias significativas entre el módulo 1 y el tratamiento control (P>0.05), aunque se observó una tendencia a ser mayor en esta última. Por otro lado, se encontraron diferencias significativas (P<0.05) entre el módulo 2 y el tratamiento control. Comparando los dos módulos irrigados con efluente del cultivo de camarón, no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) entre ellos.

El peso individual de fruto fue significativamente (P<0.05) diferente entre el tratamiento control y las dos camas irrigadas con el agua de efluente de camarón, pero no se encontraron diferencias significativas entre estos últimos entre sí, mientras que en la talla de la planta no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) entre el módulo 2 y las tallas de las plantas del

tratamiento control, pero se encontraron diferencias en la comparación entre ambos módulos contra el módulo 1 ( $P < 0.05$ ).

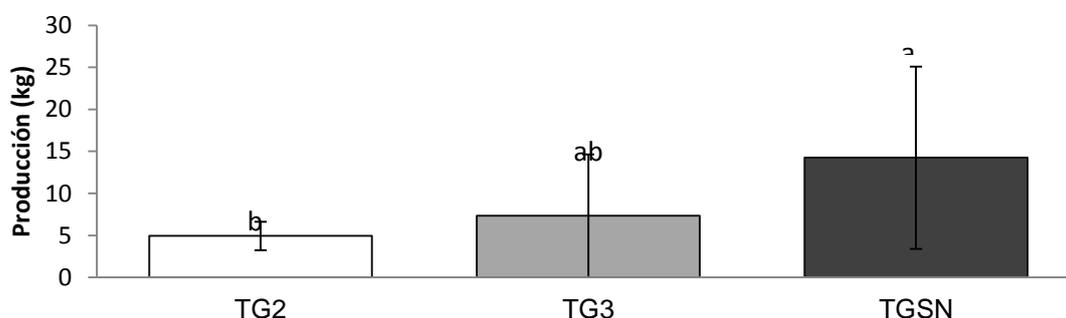


Figura 8. Producción de tomate uva por cama obtenida durante el cultivo integrado camarón-tomate con agua de baja salinidad para los tres tratamientos: tratamiento control (barra negra); regados con efluente de cultivo de camarón del módulo 2 (barra blanca) y regados con efluente de cultivo de camarón del módulo 1 (barra gris).

Uriesti-Pesina *et al.* (2008) obtuvieron rendimientos de  $30.1 \text{ t ha}^{-1}$  en un monocultivo hidropónico en camas con tezontle. Prinsloo y Schoonbee (1987) obtuvieron rendimientos de  $98.5 \text{ t ha}^{-1}$  en tomate cherry irrigado con efluente de un cultivo de peces. Silva-Castro *et al.* (2006) registraron un rendimiento de  $32 \text{ t ha}^{-1}$ , con un peso individual promedio de fruto de  $5.5 \text{ g}$  en tomate cherry irrigado con efluente de cultivo de tilapia. En todos estos cultivos se empleó agua dulce para el riego. En el presente estudio se obtuvieron rendimientos más bajos, pero se pueden considerar como un agregado al cultivo de camarón, con el cual se aprovecha el efluente logrando con ello dos ventajas: (i) se aprovechan los nutrientes contenidos en el efluente de tal manera que se convierten el nitrógeno, fósforo y otros micronutrientes en biomasa como plantas de tomate y, (ii) se evita la descarga de los efluentes a los ecosistemas naturales receptores como son lagunas costeras, ríos, y otros humedales; evitándose así los impactos nocivos asociados con la adición de nutrientes como es el deterioro de la calidad del agua (reducción del oxígeno disuelto, incremento de amonio y nitritos, incremento de sólidos suspendidos, etc.) y la eutrofización.

### 8.2.2. Cultivo de tomate bola

En la Tabla 10 se presentan los datos de producción obtenidos del cultivo de tomate bola irrigado con los efluentes del cultivo de camarón y el tratamiento control.

Tabla 10. Datos de producción para tomate bola obtenidos durante el cultivo integrado de camarón con agua de baja salinidad.

	Módulo 1	Módulo 2	Tratamiento control
Número de tomates por planta	5.9±2.5 <sup>b</sup>	4.9±2.8 <sup>b</sup>	10.5±6.1 <sup>a</sup>
Producción por planta (g/planta)	316.8±136.5 <sup>ab</sup>	280.2±167.9 <sup>b</sup>	495.4±307.7 <sup>a</sup>
Peso individual del fruto (g)	58.3±28.3 <sup>a</sup>	58.3±19.5 <sup>a</sup>	49.7±22.8 <sup>a</sup>
Talla de las plantas (cm)	89.6±48.4 <sup>b</sup>	89.6±53.6 <sup>b</sup>	134.7±62.1 <sup>a</sup>
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	13.1±5.7 <sup>ab</sup>	11.6±7.0 <sup>b</sup>	20.6±12.8 <sup>a</sup>

Medias con letras diferentes entre las líneas son significativamente diferentes entre sí (P<0.05).

No hubo diferencias significativas (P>0.05) entre el peso individual promedio del fruto en los tres tratamientos, mientras que en el número de tomates por planta y la talla de las plantas, el tratamiento control fue significativamente (P<0.05) mayor que los promedios resultados de los dos tratamientos irrigados con agua de efluente del cultivo de camarón.

Para las demás variables, no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento control y el módulo 1, ni entre los dos tratamientos de efluente de cultivo de camarón (P>0.05), pero si se encontraron diferencias significativas (P<0.05) entre el módulo 2 y el tratamiento control.

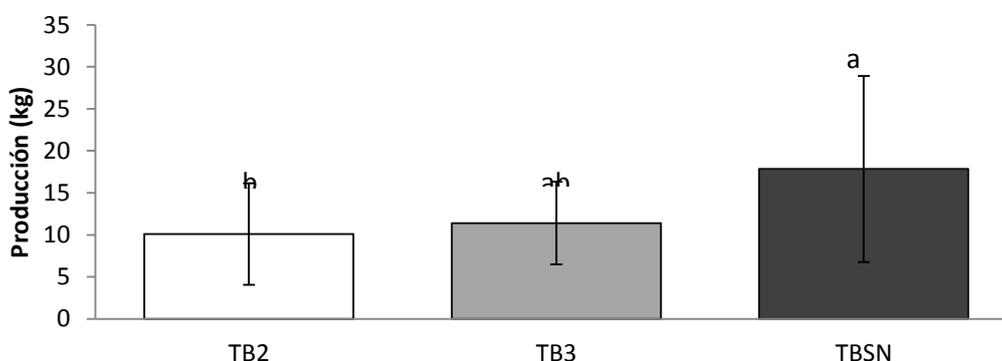


Figura 9. Producción de tomate bola acumulada por cama obtenida durante el cultivo integrado de camarón-tomate usando agua de baja salinidad para los tres tratamientos: tratamiento control (barra negra); regados con efluente de cultivo de camarón del módulo 2 (barra blanca) y regados con efluente de cultivo de camarón del módulo 1 (barra gris).

En el Estado de Sinaloa, el rendimiento anual promedio alcanzado en monocultivos de tomate comercial es de 44.9 t ha<sup>-1</sup> con ciclos de cultivos cíclicos y perenes en las modalidades de riego y temporal (SIAP 2012), en estos resultados se engloban los cultivos a cielo abierto, en casa sombra e invernadero y se utilizan fertilizantes de manera rutinaria al igual que plaguicidas para asegurar las cosechas.

En España, monocultivos con niveles de conductividad eléctrica similares a los nuestros registran rendimientos de 220 t ha<sup>-1</sup>, con un peso individual de fruto de 152 g para una conductividad de 2600 µS/cm, mientras que para una conductividad de 3000 µS/cm se alcanzan 223 t ha<sup>-1</sup> con un peso individual de 152 g (Magán *et al.*, 2008). En Canadá, Shi *et al.* (2002) obtuvieron 186.8 t ha<sup>-1</sup>, el éxito de este monocultivo se debe a la solución de riego utilizada que varió de 1800 a 3500 µS/cm (solución nutritiva añadiéndole cantidades conocidas de NaCl), luz artificial y foto-periodo controlado, enriquecimiento de CO<sub>2</sub> y temperatura controlada.

McMurtry *et al.* (1997) lograron rendimientos de tomate que van desde 93 hasta 137 t ha<sup>-1</sup> con diferentes tratamientos en cultivos acoplados a tilapia híbrida y tomate bola variedad "kewalo", dichos resultados se encuentran muy por encima de lo registrado en el presente estudio, aunque aquí los autores emplearon agua dulce.

Mariscal-Lagarda *et al.* (2012) lograron un rendimiento de 36.1 t ha<sup>-1</sup> con tomate bola irrigado con efluente de cultivo de camarón con un peso individual de fruto de 110.6 g y 7.0 tomates por planta, estos resultados son superiores a los registrados en el presente trabajo en ambos módulos, lo cual se debe a las diferentes aguas utilizadas (salinidad y composición). Magán *et al.* (2005) mencionan que el valor umbral de conductividad eléctrica a partir del cual comienza a disminuir la producción es de 3500 µS/cm; en el presente estudio no se sobrepasó dicho valor, pero si se sobrepasó el valor máximo de concentración de cloruros que según Molineux (1996) es de 400 mg/L, lo cual influye en la disminución de la producción y el peso individual del fruto.

### 8.3. Cultivo de lechuga

Al término del cultivo se pudo observar un buen crecimiento de ambos tipos de lechuga y los resultados se resumen en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11. Datos de producción de lechuga romana obtenidos al final del cultivo.

	Módulo 1	Módulo 2	Tratamiento control
Peso individual (g)	169.6 ± 99.1 <sup>ab</sup>	139.5 ± 180.5 <sup>b</sup>	264 ± 75.6 <sup>a</sup>
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	12.2 ± 7.1 <sup>ab</sup>	10.0 ± 13.0 <sup>b</sup>	33.9 ± 9.7 <sup>a</sup>

Medias con letras diferentes entre las líneas, son significativamente diferentes entre sí (P<0.05).

Las lechugas cultivadas en el tratamiento control y las cultivadas en el módulo 1 no mostraron diferencias significativas (P>0.05) ni en su peso individual ni en el rendimiento, ni tampoco se observaron diferencias significativas (P>0.05) entre los tratamientos de cultivo de camarón, pero si se encontraron diferencias entre el módulo 2 y el tratamiento control (P<0.05).

Tabla 12. Datos de producción de lechuga orejona obtenidos al final del cultivo.

	Módulo 1	Módulo 2	Tratamiento control
Peso individual (g)	229.9 ± 166.0 <sup>a</sup>	112.7 ± 116.6 <sup>a</sup>	134.3 ± 29.4 <sup>a</sup>
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	16.5 ± 11.9 <sup>a</sup>	8.1 ± 8.4 <sup>a</sup>	17.1 ± 3.8 <sup>a</sup>

Medias con letras diferentes entre las líneas, son significativamente diferentes entre sí (P<0.05).

Para lechuga orejona tanto para el peso individual como para el rendimiento no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) entre los tres tratamientos a pesar de mostrarse una tendencia a ser mayor los datos promedios para el módulo 1.

Los resultados con la lechuga son promisorios dado que evidencian resultados favorables, particularmente para la lechuga orejona y el módulo 1. Al integrar esta hortaliza se logra un tercer producto y se evita la descarga de efluentes de manera tal que el impacto que se provoque por tal descarga, se elimina completamente.

Al incorporar estos tres productos al presupuesto de agua utilizada por kilogramo de camarón, tomate y lechuga sumados, el consumo de agua disminuye de 0.70 a 0.58 m<sup>3</sup>/kg para el módulo 1 y de 0.91 a 0.77 m<sup>3</sup>/kg para el módulo 2.

#### 8.4. Análisis económico

Una vez terminado el cultivo, se elaboró el análisis financiero correspondiente al proyecto piloto tomando en cuenta los datos de producción. En la Tabla 13, se muestran los costos de inversión requeridos para la construcción del proyecto piloto. Se puede observar el monto total de la infraestructura de la obra fue de un total de \$37,140.81 pesos los cuales se desglosan de la siguiente manera:

Tabla 13. Costos de inversión empleados en la construcción del cultivo piloto.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>ACTIVO FIJO</b>				
<b>OBRA CIVIL</b>				
Cultivo de camarón				
estanques circulares 2 m de diámetro				
	Unidad	3.0	\$ 1,305.12	\$ 3,915.36
Tubería PVC 1 1/2" (tramo 3m)	Tramo	0.5	\$ 13.50	\$ 6.75
Codos PVC 1 1/2"	Unidad	3.0	\$ 13.00	\$ 39.00
Tubería PVC 2" (tramo 3m)	Tramo	2.0	\$ 129.70	\$ 259.40
Codos PVC 2"	Unidad	4.0	\$ 19.50	\$ 78.00
Conexión T PVC 2"	Unidad	3.0	\$ 27.00	\$ 81.00
reducción pvc hidráulico de 2" a 1 1/2"	Unidad	3.0	\$ 17.50	\$ 52.50
Manguera ciega de 1/4"	Metro	1.0	\$ 6.00	\$ 6.00
Cultivo de tomate				
Casa sombra de 10 m x 10 m	Unidad	1.0	\$ 8,500.00	\$ 8,500.00
Block de 40x12x20	Unidad	74.0	\$ 11.00	\$ 814.00
Hule negro 1.2 m de ancho	Metro	7.5	\$ 6.50	\$ 48.75
<b>EQUIPO DE SERVICIO</b>				
Equipo de aireación				
Blower de 1/2 hp	Unidad	2.0	\$ 4,499.00	\$ 8,998.00
Manguera difusora aero-tube	Metro	1.0	\$ 65.00	\$ 65.00
Instalación eléctrica para blower	Unidad	1.0	\$ 850.00	\$ 850.00
Bomba sumergible 1/16 hp	Unidad	1.0	\$ 119.00	\$ 119.00
<b>EQUIPO AUXILIAR</b>				
Equipo para calidad del agua				
Oxímetro YSli modelo 55-12FT	Unidad	1.0	\$ 5,900.00	\$ 5,900.00
Potenciómetro HANNA HI98127	Unidad	1.0	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
Biofiltros sumergidos				

mallasombra	metro cuadrado	13.5	\$ 16.00	\$ 216.00
Tubo PVC 6" (tramo 6m)	Tramo	0.5	\$ 420.00	\$ 210.00
Tubo PVC 4" (tramo 3m)	Tramo	0.2	\$ 135.00	\$ 27.00
Materiales para cultivo de lechuga				
Hoja de poliuretano 1m x 1m	Tramo	3.0	\$ 35.00	\$ 105.00
Vasos de poliuretano	Unidad	27.0	\$ 0.79	\$ 20.25
Herramienta de trabajo				
arco y segueta	Unidad	1.0	\$ 49.90	\$ 49.90
pinzas	Unidad	1.0	\$ 48.00	\$ 48.00
desarmador	Unidad	1.0	\$ 29.90	\$ 29.90
silicón	Unidad	1.0	\$ 61.50	\$ 61.50
pistola para silicón	Unidad	1.0	\$ 49.50	\$ 49.50
abrazaderas para tubo de 1 1/2"	Unidad	6.0	\$ 10.00	\$ 60.00
taladro	Unidad	1.0	\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
martillo	Unidad	1.0	\$ 189.00	\$ 189.00
caja de herramientas	Unidad	1.0	\$ 219.00	\$ 219.00
cinta métrica	Unidad	1.0	\$ 35.00	\$ 35.00
Monitoreo del alimento				
charolas alimentadoras	Unidad	12.0	\$ 149.00	\$ 1,788.00
<b>Total</b>			<b>\$37,140.81</b>	

Los costos de operación del proyecto piloto de cada módulo se describen en las Tablas 14 y 15. Cabe señalar que las plántulas de tomate y la postlarva de camarón fueron donadas por productores de la región, pero su costo fue tomado en cuenta para calcular el análisis financiero. Para el caso del módulo 1, los costos de operación ascienden a un total de \$3,043.05 pesos, mientras que para el módulo 2 los costos de operación se calcularon en \$3,033.57 pesos, en ambos casos el único insumo que varió fue el alimento suministrado.

Tabla 14. Costos de operación del cultivo piloto para el módulo 1.

	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>MATERIA PRIMA</b>				
camarón				
postlarva	millar	1.4	\$ 65.00	\$ 91.85
alimento balanceado 30% proteína	kg	8.8	\$ 12.00	\$ 105.48
p-nutrilake	kg	0.03	\$ 15.00	\$ 0.45

tomate					
plántula de tomate	unidad	36.0	\$ 1.25	\$ 45.00	
lechuga					
semilla	g	0.03	\$ 10.00	\$ 0.27	
combustibles y lubricantes					
energía eléctrica para blower y bombas	mensual	8.0	\$ 350.00	\$ 2,800.00	
	TOTAL			\$ 3,043.05	

Tabla 15. Costos de operación del cultivo piloto para el módulo 2.

	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>MATERIA PRIMA</b>				
camarón				
postlarva	millar	1.41	\$ 65.00	\$ 91.85
alimento balanceado 30% proteína	kg	8.00	\$ 12.00	\$ 96.00
p-nutrilake	kg	0.03	\$ 15.00	\$ 0.45
tomate				
plántula de tomate	unidad	36.00	\$ 1.25	\$ 45.00
lechuga				
semilla	g	0.03	\$ 10.00	\$ 0.27
combustibles y lubricantes				
energía eléctrica para blower y bombas	mensual	8.00	\$ 350.00	\$ 2,800.00
	TOTAL			\$ 3,033.57

Se observa en la Tabla 16 que en ninguno de los casos se registran utilidades positivas para el proyecto piloto, esto se debe a la poca producción obtenida comparada con los gastos de operación necesarios, en especial los gastos de energía eléctrica, los cuales corresponden a un 92% del total de los gastos.

Tabla 16. Ingresos, costos de operación y utilidad neta del proyecto piloto.

CONCEPTO	Módulo 1 + Tomate bola	Módulo 1 + Tomate uva	Módulo 2 + Tomate bola	Módulo 2 + Tomate uva
<b>INGRESOS POR VENTAS:</b>				
CAMARON	\$ 214.77	\$ 214.77	\$ 135.99	\$ 135.99
TOMATE	\$ 114.04	\$ 234.83	\$ 100.88	\$ 157.92
LECHUGA	\$ 45.00	\$ 45.00	\$ 45.00	\$ 45.00
TOTAL DE INGRESOS	\$ 373.81	\$ 494.60	\$ 281.87	\$ 338.91
<b>EGRESOS DE OPERACION:</b>				
COSTOS DE OPERACIÓN	\$ 3,043.05	\$ 3,043.05	\$ 3,033.57	\$ 3,033.57
UTILIDAD NETA	-\$ 2,669.24	-\$ 2,548.44	-\$ 2,751.70	-\$ 2,694.66

Se observa en la Tabla 17 que en ninguno de los casos resulta económicamente viable el cultivo integral camarón – tomate a escala piloto, ya que los indicadores financieros así lo demuestran.

Tabla 17. Indicadores financieros calculados para el cultivo piloto.

	Módulo 1 + Tomate bola	Módulo 1 + Tomate uva	Módulo 2 + Tomate bola	Módulo 2 + Tomate uva
<b>INDICADORES DE RENTABILIDAD</b>				
PUNTO DE EQUILIBRIO (\$):	\$ 3,043.05	\$ 3,043.05	\$ 3,033.57	\$ 3,033.57
PUNTO DE EQUILIBRIO (%):	814.07	615.25	1,076.23	895.10
VALOR PRESENTE NETO (VPN):	-\$46,195.46	-\$ 45,785.70	-\$46,475.18	-\$ 46,281.69
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):	-	-	-	-
RELACION BENEFICIO-COSTO:	-0.07	-0.07	-0.08	-0.07
PERIODO DE RECUPERACION:	No se paga	No se paga	No se paga	No se paga

El punto de equilibrio es aquel punto de actividad donde los ingresos totales se igualan a los costos de producción, es decir, el punto donde no hay ganancias pero tampoco pérdidas. Para el caso de punto de equilibrio (%), el mejor resultado lo mostró el módulo 1 + tomate uva con 615.25 %, mientras que el punto de equilibrio más alto fue para el módulo 2 + tomate bola con 1,076.23%.

Para el caso del valor presente neto el cálculo se llevó a cabo tomando una tasa de interés del 14.5% equivalente al TIIE a 28 días + 10 (Financiera rural, 2013) y un periodo de tiempo de 5 años. En todos los tratamientos se presenta un valor presente neto negativo, que va desde -\$ 45,785.70 pesos para el módulo 1 + tomate uva hasta -\$ 46,475.18 pesos para el módulo 2 + tomate

bola lo cual indica que indica que el proyecto piloto no soporta la tasa de interés.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa real de rendimiento de la inversión, con previa consideración del valor temporal del dinero (Engle y Valderrama, 2001). En otras palabras, la tasa interna de retorno es la tasa de interés que puede soportar el proyecto, si toda la inversión está financiada por un crédito. Para el caso del proyecto piloto en ninguno de los tratamientos se observó un valor de TIR positivo, La relación beneficio-costos es el índice que demuestra cuantos son los beneficios por cada peso que se invierte. Para todos los casos la relación beneficio-costos se vuelve negativo, lo que indica que no se registran utilidades para el proyecto piloto.

El periodo de recuperación es el número de años que una inversión tomaría para devolver su costo original por medio de los ingresos netos en efectivo que genera cada año (Engle y Valderrama, 2001). Para todos los casos, no se recupera la inversión en los cinco años de operación propuestos para este análisis.

Debido a la escala del proyecto no se logra la factibilidad técnica del cultivo integral, es necesario realizar el cultivo a escalas más parecidas a las comerciales para demostrar su factibilidad, ya que a escala piloto solo se demuestra que técnicamente el cultivo es factible y arroja resultados promisorios, por ello se realizaron las siguientes proyecciones de producción desde una hasta diez hectáreas y estimar a que superficie de cultivo comienza a ser rentable el proyecto.

#### *8.4.1. Proyecciones de producción*

##### *8.4.1.1. Costos de operación y utilidades*

Comparando los costos de operación por hectárea entre los dos tratamientos de cultivo de camarón con sus respectivos tipos de tomate, se observa que los tratamientos del módulo 1 registran costos más altos con respecto a los tratamientos del módulo 2. Estos costos varían desde \$ 1,343,527.32 pesos ha<sup>-1</sup> para una superficie de cultivo de una hectárea y \$ 657,782.80 pesos ha<sup>-1</sup> cuando se considera una superficie de cultivo de diez hectáreas para el módulo 1, mientras que para el módulo 2 van desde \$

1,291,898.47 pesos ha<sup>-1</sup> para la superficie de cultivo de una hectárea hasta \$ 606,153.95 pesos ha<sup>-1</sup> para la superficie de cultivo de diez hectáreas. Esto se debe a que en el módulo 1 se obtuvo una mayor supervivencia y un mayor rendimiento de camarón cosechado, por lo tanto se suministró una mayor cantidad de alimento balanceado, lo cual elevó los costos de producción en este módulo. En los anexos 2a, 2b y 2c se presentan los costos de producción desglosados por cada módulo.

Como se observa en la figura 10, debido a la economía de escala al aumentar la superficie de cultivo los costos de operación tienden a disminuir (Shang, 1990).

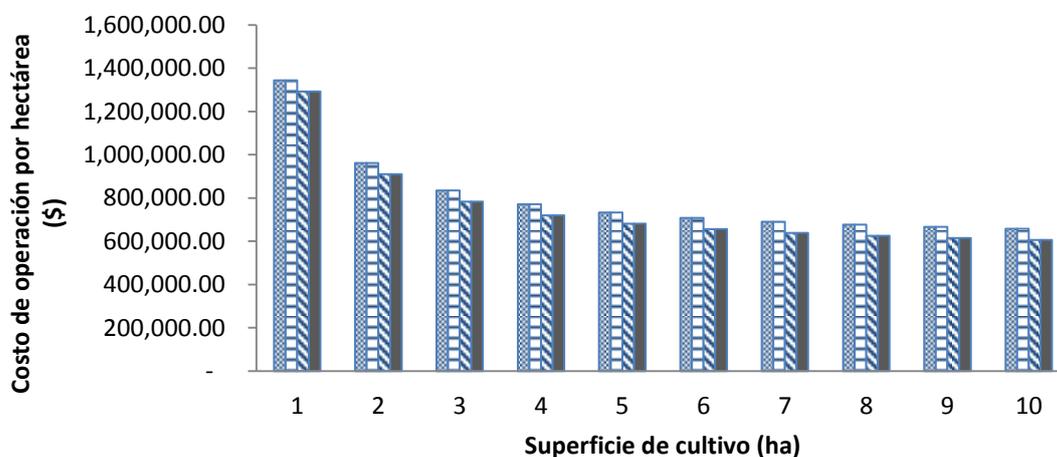


Figura 10. Costo de operación por hectárea para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

Por otro lado, las utilidades por hectárea más altas se obtuvieron en el módulo 1 + tomate uva registrando \$ 417,639.56 pesos ha<sup>-1</sup> para una hectárea de superficie de cultivo y \$ 1,065,270.06 pesos ha<sup>-1</sup> para una superficie de cultivo de diez hectáreas, mientras que las utilidades más bajas las registró en el módulo 2 + tomate bola con una utilidad por hectárea de \$ 69,025.74 pesos ha<sup>-1</sup> para una hectárea de superficie de cultivo y \$ 716.656.24 pesos ha<sup>-1</sup> para diez hectáreas de superficie de cultivo. Como se observa en la figura 11, los tratamientos del módulo 1 son los que registran mayores utilidades por

hectárea, además se observa que al aumentar la superficie de cultivo las utilidades por hectárea aumentan.

A diferencia del cultivo piloto, a escalas de proyecto de una hectárea en adelante se estiman ingresos netos positivos, debido a la producción que se obtiene tanto de camarón, como tomate y lechuga comparada con los insumos necesarios.

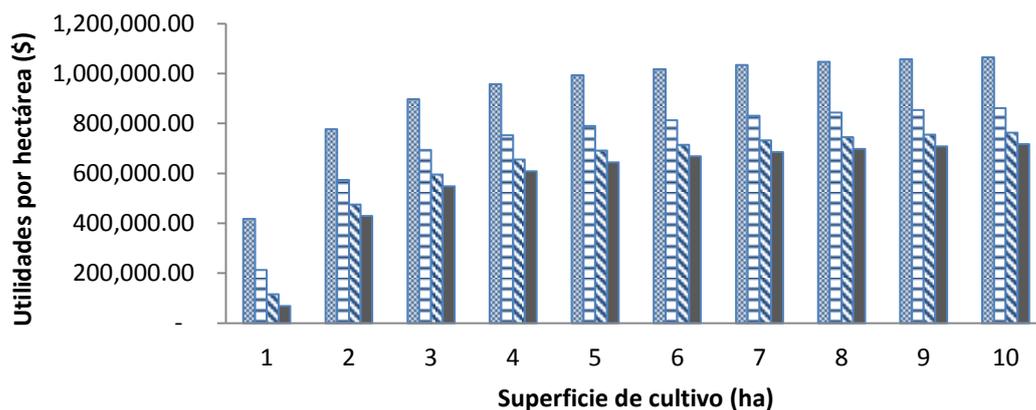


Figura 11. Utilidades por hectárea estimadas para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

#### 8.4.1.2. Punto de equilibrio

En la figura 12, se observa como el punto de equilibrio va disminuyendo conforme aumenta la superficie de cultivo, desde una hectárea hasta diez el punto de equilibrio más bajo lo presenta el módulo 1 + tomate uva con 75.2% para una hectárea y 36.8% para diez hectáreas de superficie de cultivo, mientras que el tratamiento que presentó el punto de equilibrio más alto fue el módulo 2 + tomate bola con 94.6% para una hectárea de superficie de cultivo y 44.4% para diez hectáreas.

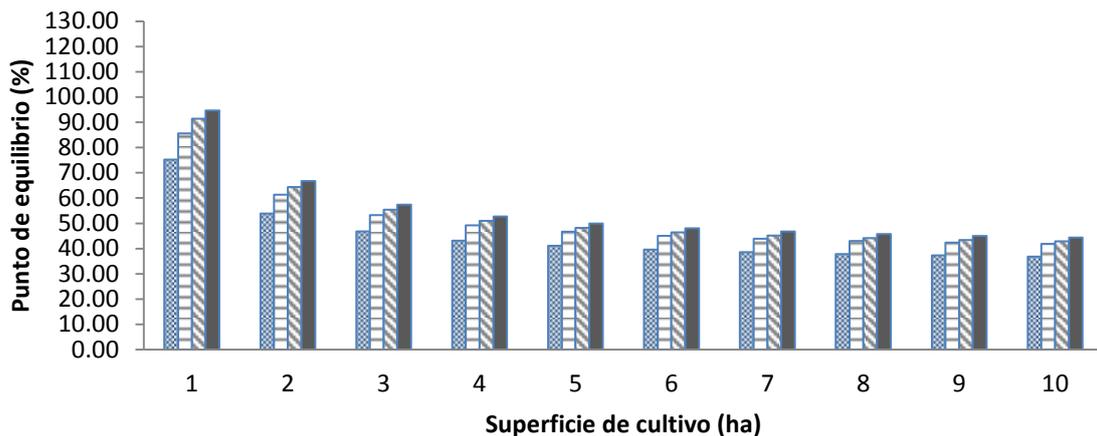


Figura 12. Punto de equilibrio calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

#### 8.4.1.3. Valor presente neto

Para una hectárea de superficie de cultivo todos los tratamientos presentan valor presente neto negativo, mientras que en dos hectáreas solamente el módulo 1 + tomate uva presenta un valor presente neto positivo de \$ 823,908.64 pesos y \$ 15,689,650.62 pesos para diez hectáreas, siendo este tratamiento el que muestra los mejores resultados. Por otro lado, el módulo 2 + tomate bola registró los valores más bajos, mostrando valores positivos a partir de una superficie de cultivo de 4 hectáreas con \$ 489,613.68 pesos y siguiendo el mismo patrón hasta las diez hectáreas de superficie de cultivo.

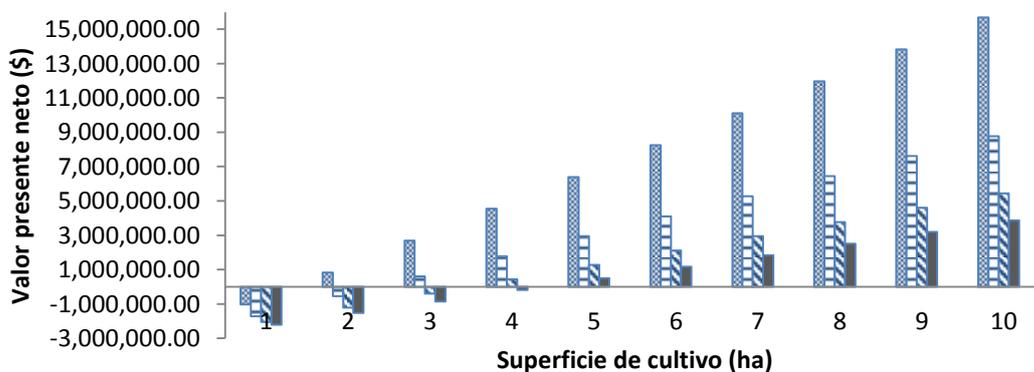


Figura 13. Valor presente neto calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

#### 8.4.1.4. Tasa interna de retorno

En la figura 14, se muestra la variación de la tasa interna de retorno en los cuatro tratamientos a diferentes escalas del cultivo integral. En una superficie de una hectárea de cultivo, ninguno de los tratamientos mostró una tasa interna de retorno positiva, mientras que en dos hectáreas los dos tratamientos del módulo 1 y el módulo 2 + tomate uva registran una tasa positiva. Para todos los escenarios el que presenta los mejores resultados es el módulo 1 + tomate uva mientras que el tratamiento que obtuvo los resultados más bajos fue el tratamiento del módulo 2 + tomate bola.

La línea punteada presente en la gráfica (figura 14) representa la tasa de descuento utilizada para calcular el valor presente neto, la cual nos indica que a partir de que las barras superan esa línea, el tratamiento presenta una factibilidad económica positiva, tal es el caso en cinco hectáreas de superficie de cultivo en donde todos los tratamientos superan esta tasa de descuento.

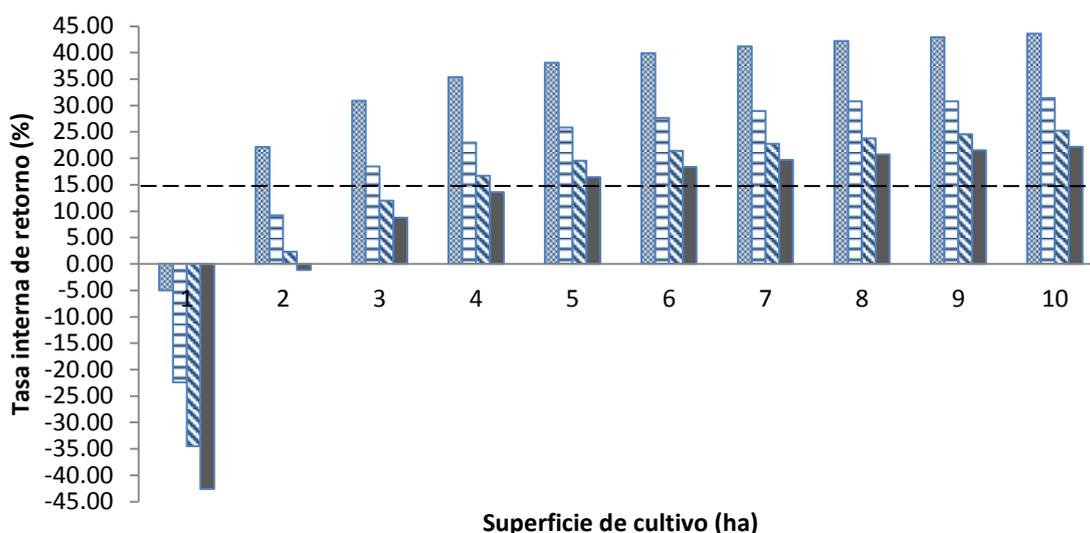


Figura 14. Tasa interna de retorno calculada para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra). Tasa de descuento utilizada para calcular el valor presente neto (línea punteada).

#### 8.4.1.5. Relación beneficio-costo

De los cuatro tratamientos, el que registró la relación beneficio-costo más alta desde una hasta diez hectáreas de cultivo fue el módulo 1 + tomate uva,

registrando una relación beneficio-costo de 0.85 y 2.60, respectivamente, mientras que el tratamiento que registró los resultados más bajos fue el módulo 2 + tomate bola con una relación beneficio-costo de 0.14 en una hectárea y 1.75 en diez hectáreas de superficie de cultivo. Como se observa en la figura 15, la relación beneficio-costo tiende a incrementarse en todos los tratamientos cuando la superficie de cultivo aumenta.

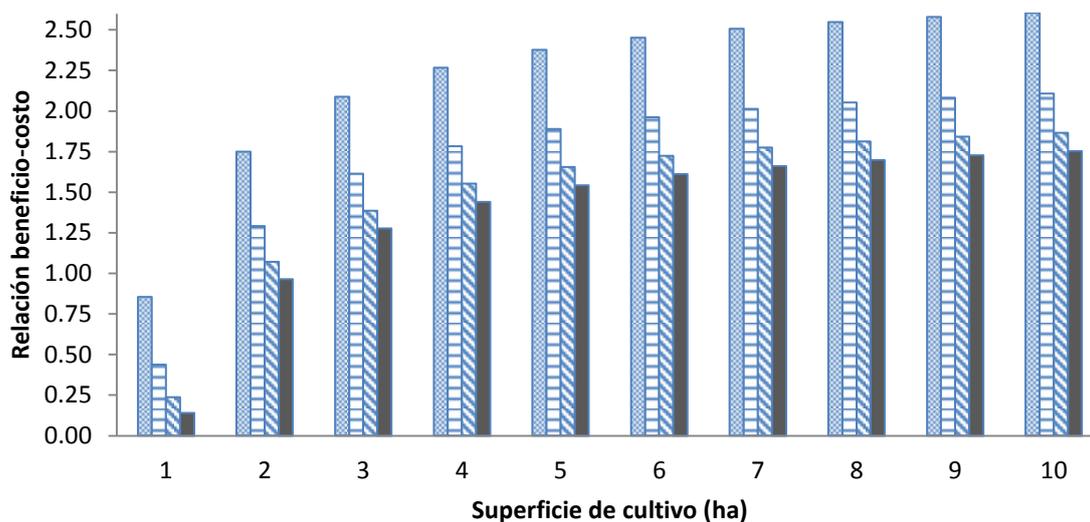


Figura 15. Relación beneficio-costo calculada para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con rayas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

#### 8.1.4.6. Periodo de recuperación

Como se observa en la figura 16, el periodo de recuperación tiende a disminuir conforme la superficie de cultivo aumenta; sin embargo, cabe mencionar que en una hectárea de superficie de cultivo ninguno de los tratamientos recupera su inversión. El tratamiento que registró un menor periodo de recuperación en todos los escenarios de producción fue el módulo 1 + tomate uva con 2.86 años en una superficie de dos hectáreas y 1.92 años para diez hectáreas de superficie de cultivo. Mientras que el tratamiento que presentó un mayor periodo de recuperación fue el módulo 2 + tomate bola con 3.91 años en una superficie en tres hectáreas y 2.85 años en diez hectáreas de superficie de cultivo. Los tratamientos del módulo 1 comienzan a presentar un

periodo de recuperación favorable a partir de las dos hectáreas, mientras que los tratamientos del módulo 2 a partir de tres hectáreas de superficie de cultivo.

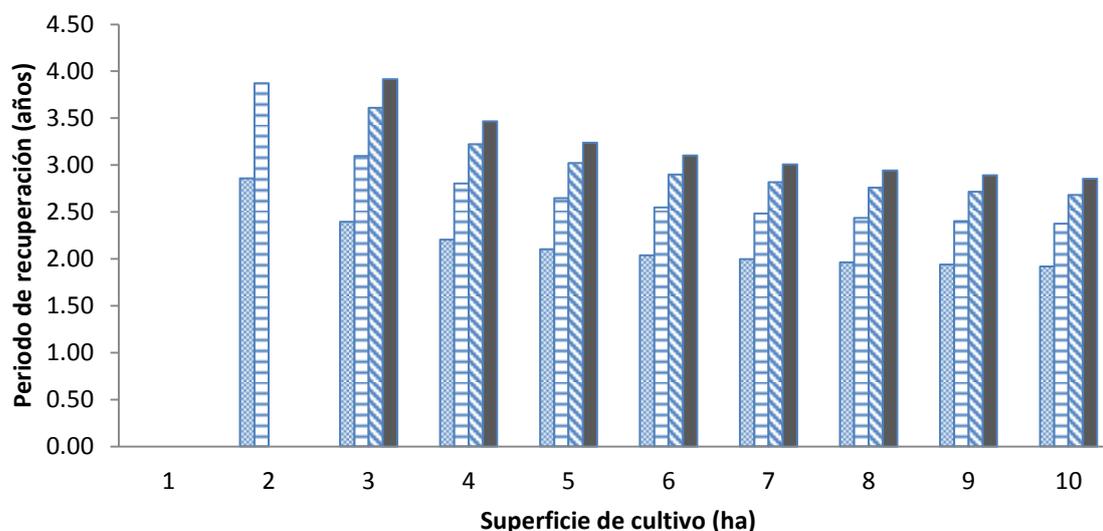


Figura 16. Periodo de recuperación calculado para el cultivo integrado de camarón-tomate-lechuga con agua de baja salinidad: módulo 1 + tomate uva (barra con puntos); módulo 1 + tomate bola (barra con líneas horizontales); módulo 2 + tomate uva (barra con líneas diagonales) y módulo 2 + tomate bola (barra gris-negra).

Son pocos los trabajos publicados de cultivos integrados de camarón con hortalizas o frutos, y en su mayoría solo presentan datos de producción, manejo y calidad del agua. Dentro de estos se encuentran los de Miranda *et al.* (2008) en el que se registraron datos de producción, calidad del agua y salinización del suelo en un cultivo integrado de camarón blanco y melón utilizando agua de río. También, Flaherty *et al.* (2000) trabajó con cultivos de camarón y arroz, mientras que McIntosh y Fitzsimmons (2003) trabajaron un cultivo integrado de camarón y árboles de olivos usando agua de pozo.

Solamente se encontró un trabajo publicado que analiza la parte económica en este tipo de cultivos, es el de Berg (2002), en el cual se registra un ingreso neto de \$11,700 pesos (moneda nacional) por hectárea por año en un cultivo integrado de peces y arroz en el delta del Mekong, Vietnam. Aún existe un vacío de información acerca de la viabilidad económica de los cultivos integrados acuícolas-agrícolas en especial en cultivos con camarón.

### **8.5. Beneficio ambiental**

Se realizó la revisión bibliográfica en costos de depuración para tratamientos primario en diversas fuentes, tanto para costos de operación como para costos de inversión. Los costos se muestran en las Tablas 18 y 19.

Tabla 18. Costos de operación de depuración.

Tratamiento	Costo (\$/m3)	Valor deflactado (\$/m3)	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Fuente
tratamiento terciario	8	8.00					anónimo, 2013
tratamiento terciario	33.44	38.19					Huo-Sheng et al, 2009
tratamiento terciario	4.18	4.20					Molinos-Senante, 2011
tratamiento terciario	8	8.00					zamalloa et al, 2013
tratamiento terciario	5.18	5.92					EPSAR, 2009; Molinos-Senante, 2010
tratamiento terciario	0.6	0.60					Rocher et al, 2012
tratamiento terciario	0.55	0.55	9.35	13.09	0.55	38.19	Rocher et al, 2012

Tabla 19. Costos de inversión para las plantas tratadoras de agua en México. (CNA, 2001b).

Tipo de tratamiento	unidad	costo unitario (\$)	tiempo en llenarse un m <sup>3</sup> (s)	costos de tratar un m <sup>3</sup> (\$)	valor deflactado (\$)	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
tratamiento primario 20 lps	\$/lps	704,560.00	50.00	35,228,000.00	67,549,130.99				
tratamiento primario 70 lps	\$/lps	293,127.00	14.29	4,187,528.57	8,029,519.59				
tratamiento primario 100 lps	\$/lps	243,753.00	10.00	2,437,530.00	4,673,925.10				
tratamiento primario 500 lps	\$/lps	151,587.00	2.00	303,174.00	581,331.33				
tratamiento primario 1000 lps	\$/lps	140,066.00	1.00	140,066.00	268,574.33				
tratamiento primario 1200 lps	\$/lps	138,146.00	0.83	115,121.67	220,743.97	13,553,870.88	26,636,133.98	220,743.97	67,549,130.99
proceso lagunar 20 lps	\$/lps	118,087.00	50.00	5,904,350.00	11,321,497.43				
proceso lagunar 43 lps	\$/lps	89,003.00	23.26	2,069,837.21	3,968,880.00				
proceso lagunar 70 lps	\$/lps	79,248.00	14.29	1,132,114.29	2,170,811.18				
proceso lagunar 100 lps	\$/lps	74,587.00	10.00	745,870.00	1,430,193.89				
proceso lagunar 500 lps	\$/lps	65,887.00	2.00	131,774.00	252,674.55				

proceso lagunar 1000 lps	\$/lps	64,800.00	1.00	64,800.00	124,252.97				
proceso lagunar 1200 lps	\$/lps	64,619.00	0.83	53,849.17	103,254.92	2,767,366.42	4,024,258.00	103,254.92	11,321,497.43
proceso lodos activados 20 lps	\$/lps	710,857.00	50.00	35,542,850.00	68,152,850.87				
proceso lodos activados 70 lps	\$/lps	337,423.00	14.29	4,820,328.57	9,242,903.54				
proceso lodos activados 100 lps	\$/lps	292,611.00	10.00	2,926,110.00	5,610,769.49				
proceso lodos activados 500 lps	\$/lps	208,962.00	2.00	417,924.00	801,362.64				
proceso lodos activados 1000 lps	\$/lps	198,506.00	1.00	198,506.00	380,632.11				
proceso lodos activados 1200 lps	\$/lps	196,763.00	0.83	163,969.17	314,408.28	14,083,821.15	26,730,076.27	314,408.28	68,152,850.87

De los datos bibliográficos encontrados, se tomaron en cuenta el valor mínimo y máximo en cada caso y se calculó el beneficio ambiental por daño ambiental evitado, multiplicándolo por el consumo de agua de cada tratamiento y sumando el costo de inversión. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Beneficios ambientales por daño ambiental evitado del cultivo piloto.

Módulo	costos de operación (\$/m <sup>3</sup> )		Costo de inversión (\$)	Beneficio total por daño ambiental evitado (\$)	
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
Módulo 1	3.15	218.37	314,408.28	314,411.43	314,626.65
Módulo 2	3.10	215.17	314,408.28	314,411.38	314,623.45

Para el módulo 1 se estimó un beneficio ambiental por daño ambiental evitado de \$314,441.34 pesos el mínimo y \$314,626.65 pesos el máximo, mientras que para el módulo 2 se estimó un beneficio ambiental por daño ambiental evitado de \$314,411.38 pesos el mínimo y \$314,623.45 pesos el máximo.

En cuanto a costo ambiental del cultivo piloto, se estimó un costo por módulo de cultivo de \$ 231.11 pesos para el blower y \$ 2.26 pesos para la bomba sumergible, dando un costo ambiental total de \$ 234.77 pesos. En la Tabla 21, se muestra el resultado donde se aprecia la manera de cálculo a partir de los datos de consumo de energía eléctrica.

Tabla 21. Costo ambiental calculado para el proyecto piloto.

	Consumo total de kWh	Factor de conversión de kWh a eqkgCO <sub>2</sub>	Producción de eqkgCO <sub>2</sub> del proyecto	Producción de eqCO <sub>2</sub> en ton	Precio de una tonelada de eqCO <sub>2</sub> (\$)	Costo ambiental total (\$)
Blower	2147,04	0,54	1167,99	1,17	198.73	232.11
Bomba sumergible	24,57	0,54	13,37	0,01	198.73	2.26
Total						234.77

El costo ambiental neto calculado a partir del beneficio ambiental por daño ambiental evitado y restándole el costo ambiental se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Beneficio ambiental neto por daño ambiental evitado del cultivo piloto.

Módulo	Beneficio total por daño ambiental evitado (\$)		costo total ambiental (\$)	beneficio ambiental neto	
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
3000 $\mu$ S/cm	314,411.43	314,626.65	-234.77	314,176.65	314,391.88
2000 $\mu$ S/cm	314,411.38	314,623.45	-234.77	314,176.61	314,388.68

Se estimó un beneficio ambiental neto para el módulo 1 de \$314,176.65 pesos el mínimo y \$314,391.88 pesos el máximo, mientras que para el módulo 2 se estimó un mínimo de \$314,176.61 pesos y \$314,388.68 pesos el máximo.

Deduciendo que el beneficio total del proyecto es aquel que resulta de los beneficios privados más el beneficio ambiental, se estimó el beneficio total para cada uno de los tratamientos, en base a la siguiente fórmula:

Beneficio total del proyecto: beneficios privados + beneficio ambiental.  
 donde los beneficios privados son las utilidades generadas en el análisis financiero del proyecto piloto y el beneficio ambiental es el estimado calculado en ahorro por daño ambiental evitado del proyecto piloto. En la Tabla 23 se muestran los resultados del beneficio total para cada uno de los tratamientos.

Tabla 23. Beneficios privados, beneficios ambientales y beneficios netos del proyecto piloto.

Módulo	Beneficios privados (\$)	Beneficios ambientales		Beneficios netos del proyecto	
		Mínimo (\$)	Máximo (\$)	Mínimo (\$)	Máximo (\$)
Módulo 1 + uva	-2,598.17	314,176.65	314,391.88	311,578.48	311,793.71
Módulo 1 + bola	-2,713.97	314,176.65	314,391.88	311,462.68	311,677.91
Módulo 2 + uva	-2,739.39	314,176.61	314,388.68	311,437.22	311,649.29
Módulo 2 + bola	-2,796.43	314,176.61	314,388.68	311,380.18	311,592.25

En todos los casos los beneficios netos del proyecto arrojan saldos positivos: el tratamiento con mayores beneficios fue el módulo 1 + uva con un mínimo de \$311,578.48 y un máximo de \$311,793.71, mientras que el tratamiento con menor beneficio fue el módulo 2 + bola con un mínimo de \$311,380.10 y un máximo de \$311,592.25.

Los beneficios ambientales de ambos módulos fueron muy parecidos y comparativamente altos en comparación con los beneficios privados

registrados. Esto puede indicar que la técnica de cultivo integral en general es benéfica para el ambiente, independientemente de los tipos de cultivo (tomate y lechuga) y de los problemas técnicos que mermaron la producción hortícola. En resumen se puede considerar una técnica efectiva para la sustentabilidad acuícola-agrícola.

Debido a que este tipo de proyectos hacen de la acuicultura una actividad más sustentable con el ambiente, debe de resaltarse el “plus” o la generosidad de este tipo de proyectos, y en un futuro debe de repercutir en los precios de los productos finales, ya que en el presente estudio se ha demostrado que se puede producir una mayor cantidad de alimento con un menor consumo de agua, además de minimizar los efluentes del cultivo de camarón en cuerpos de agua receptoras, haciendo de estos cultivos una alternativa viable para la disminución de la contaminación.

Existe una carencia de información acerca de los beneficios ambientales que estos sistemas integrados acuícolas-agrícolas generan. A manera de ejercicio, se estimó el beneficio ambiental de convertir los cultivos de camarón tradicional que se cultivan en el Estado de Sinaloa, si se convirtieran en cultivos integrados como el caso del presente trabajo. Tomando en cuenta una superficie de cultivo de 37,000 hectáreas (Cesasin, 2012) que es la superficie que se sembró aproximadamente en 2010, un tirante de un metro de profundidad en los estanques de cultivo y un porcentaje de recambio del 5% diario, se tiene que el beneficio ambiental obtenido sería de \$1,121,553,626.60 pesos el mínimo y \$ 77,721,154,543.15 pesos el máximo. Cabe mencionar, que el convertir el cultivo tradicional de camarón en Sinaloa a cultivos integrales no se puede llevar a cabo en su totalidad, ya que en dicha actividad se emplea el agua de mar o agua de estero como fuente de agua y no todas las granjas tienen un cuerpo de agua dulce cercano para poder utilizarla para el cultivo de camarón y de esta manera aprovechar sus efluentes para riego agrícola, además se debe resaltar que los montos antes calculados son solo una referencia dentro de un ejercicio teórico, pero los beneficios ambientales de un sistema integrado a escala piloto están demostrados en el presente trabajo.

Entre los primeros estudios acerca de la valuación ambiental en este tipo de cultivos se encuentra el trabajo de Thanh be *et al.* (1999) donde se detallan los costos ambientales de un cultivo de camarón blanco integrado con arroz

haciendo énfasis en la salinización de los suelos y la sedimentación, registrando un costo ambiental por salinización de los suelos de cultivo que van desde \$626.76 pesos a \$651.42 pesos por hectárea (tipo de cambio MXN/VND = 0,00059), en los que se incluyen costos por pérdida de producción debido a la salinización, construcción de diques para prevenir la salinización de los suelos y porción de suelo desaprovechado para cultivo por construcción de los diques. Por otro lado, los costos de remoción de sedimentos varían desde \$401.20 pesos hasta \$1,526.33 pesos por hectárea anuales (tipo de cambio: MXN/VND = 0,00059).

Este tipo de trabajos están más enfocados a otros servicios ambientales, tal es el caso de los bosques de manglar y humedales donde destacan los trabajos de Gren (1994) quién estima el valor de la inversión en humedales para la reducción del nitrógeno en aguas de descarga. Yang et al. (2008) evaluaron la construcción de humedales artificiales para tratar aguas residuales. Byström (2000) estimó el valor de los humedales para el abatimiento de las cargas de nitrógeno de la agricultura en el mar Báltico, entre otros trabajos.

## 9.0 CONCLUSIONES

(1) Se implementó un sistema acuapónico para el cultivo integral de camarón blanco *L. vannamei* y dos tipos de tomate *L. esculentum*, el cual estuvo en operación desde el 16 de agosto de 2011 hasta el 5 de marzo de 2012, logrando integrar ambos cultivos y obteniendo resultados promisorios.

(2) Para el cultivo de camarón, el módulo 2 (2000  $\mu\text{S/cm}$ ) registró un mayor peso final ( $11.0 \pm 1.5$  g), un mayor crecimiento por semana ( $0.65 \pm 0.09$  g/semana) al igual que la tasa de crecimiento específico ( $4.5 \pm 0.07$  %) y el factor de conversión alimenticia ( $2.3 \pm 0.2$ ), mientras que el módulo 1 (3000  $\mu\text{S/cm}$ ) presentó una mayor supervivencia ( $90.1 \pm 7.0$  %) y un mayor rendimiento ( $6.1 \pm 0.5$  t ha<sup>-1</sup>).

(3) En términos de supervivencia y rendimiento, los mejores resultados los presentó el módulo 1, además de presentar un mejor factor de conversión alimenticia, lo cual es clave para la economía de cualquier cultivo acuícola.

(4) En el cultivo de tomate, ambos tipos irrigados con el efluente de camarón mostraron resultados por debajo de los registrados con el tratamiento control; en la variedad uva, el módulo 1 registró 46.2% menos que el tratamiento control y el módulo 2, 65.7% menos con respecto a la producción por cama con el tratamiento control, mientras que en el tomate bola el módulo 1 registró 40.0% menos y el módulo 2 43.3% menos con respecto al tratamiento control.

(5) En el tomate uva se obtuvo un mayor número de tomates por planta ( $64.6 \pm 58.0$ ), mayor producción por planta ( $203.8 \pm 203.0$  g/planta), mayor producción acumulada ( $7.3 \pm 7.3$  kg/cama) y mayor rendimiento ( $8.5 \pm 8.4$  t ha<sup>-1</sup>) en el módulo 1 con respecto al módulo 2, siendo parecidos solamente en el peso individual del fruto ( $3.2 \pm 0.5$  y  $2.9 \pm 0.4$  g, respectivamente).

(6) En el tomate bola los mejores resultados se obtuvieron en el módulo 1 con respecto al módulo 2, registrándose una mayor producción por planta ( $316.8 \pm 136.5$  g/planta), mejor producción acumulada ( $11.4 \pm 4.9$  kg/cama) y mayor rendimiento ( $13.1 \pm 5.7$  t ha<sup>-1</sup>). Solo mostraron igualdad en el número de tomates por planta ( $5.9 \pm 2.5$  para el módulo de 3000  $\mu\text{S/cm}$  y  $4.9 \pm 2.8$  para el módulo de 2000  $\mu\text{S/cm}$ ) y el peso individual del fruto ( $58.3 \pm 28.3$  y  $58.3 \pm 19.5$  g, para el módulo 1 y módulo 2, respectivamente).

(7) Los resultados obtenidos en tomate fueron bajos en términos de rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) y se encuentran por debajo de lo registrado incluyendo al tratamiento control y también por debajo de lo obtenido a nivel comercial en el estado de Sinaloa.

(8) En el cultivo de lechuga orejona, no presentó diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en el peso individual ni en el rendimiento entre los tres tratamientos; sin embargo, en la lechuga romana si se encontraron diferencias significativas, siendo mayor el módulo 1 tanto en peso individual ( $169.6 \pm 99.1\ g$ ) como en el rendimiento ( $12.2 \pm 7.1$ ) con respecto al módulo 2.

(9) El consumo de agua por cada kilogramo de camarón producido fue de  $3.0\ m^3/kg$  para el módulo 1 y de  $4.8\ m^3/kg$  para el módulo 2, ambos consumos disminuyeron al sumarle la producción de tomate, siendo  $0.7$  y  $0.91\ m^3/kg$  para el módulo 1 y 2, respectivamente.

(10) El proyecto integral de camarón blanco *L. vannamei* y dos tipos de tomate *L. esculentum* es técnicamente factible, pero no es viable económicamente a esta escala, debido a los altos costos de los insumos en especial de la energía eléctrica.

(11) A medida que la superficie de cultivo aumenta, los costos de operación por hectárea disminuyen, mientras que las utilidades por hectárea aumentan, de igual manera, los índices financieros mejoran a medida que la superficie de cultivo aumenta.

(12) En las proyecciones de producción, el módulo 1 + tomate uva registró los mejores índices financieros, mostrando una factibilidad económica positiva a partir de dos hectáreas de superficie de cultivo (una hectárea de camarón: una hectárea de tomate: una hectárea de lechuga) con un punto de equilibrio de  $53.8\%$ , valor presente neto de  $\$832,908.64$  pesos, una tasa interna de retorno de  $22.12\%$ , una relación beneficio-costo de  $1.75$  y un periodo de recuperación de  $2.8$  años, mientras que el tratamiento que registró los índices financieros más bajos fue el módulo 2 + tomate bola el cual comienza a ser rentable a partir de las cinco hectáreas de cultivo con un punto de equilibrio de  $49.9\%$ , un valor presente neto de  $\$489,613.68$  pesos, una tasa interna de retorno de  $16.45\%$ , una relación de beneficio costo de  $1.54$  y un periodo de recuperación de  $3.2$  años.

(14) Al utilizar los efluentes del cultivo de camarón para la producción de tomate y lechuga, se aprovechan los nutrientes contenidos en el efluente y de esta manera se evita la descarga a cuerpos de agua receptores evitándose así impactos nocivos como el deterioro de la calidad del agua y la eutrofización, lo cual hace de este tipo de proyectos tengan un plus con respecto a los cultivos tradicionales y en un futuro los productos finales gocen de un mejor precio en el mercado como premio al beneficio ambiental generado.

(15) El beneficio ambiental neto para el proyecto piloto fue positivo en todos los casos estimándose con un mínimo de \$311,578.48 y un máximo de \$311,793.71 para el tratamiento de 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  + uva, \$314,462.68 el mínimo y \$311,677.91 el máximo para el módulo 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  + bola, \$311,437.22 el mínimo y \$311,649.29 el máximo para el módulo 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  + uva y \$311,380.18 el mínimo y \$311.592.25 el máximo para el módulo 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  +bola.

(16) Se concluye que esta técnica de cultivo es efectiva para la sustentabilidad acuícola-agrícola.

## **10.0 RECOMENDACIONES**

(1) Escalar el cultivo a dimensiones similares a las comerciales, para obtener datos de factibilidad económica más concretos.

(2) Aumentar el número de plantas de tomate para aumentar el volumen de riego y realizar un recambio mayor diario de agua de cultivo de camarón, ya que se observó que el recambio diario de agua por riego era muy bajo, calculándose alrededor del 1%.

(3) Profundizar en el análisis económico de los beneficios ambientales y de la sustentabilidad de los cultivos integrados, ya que existen pocos estudios al respecto y el presente trabajo es una aproximación preliminar que da pie a más oportunidades de investigación.

(4) Considerando que el cultivo principal es el de camarón y que el cultivo de tomate es complementario, o bien funciona como una alternativa para evitar la descarga de agua y nutrientes, el sistema integrado utilizando agua de mar diluida es factible técnicamente; sin embargo, se recomienda realizar el cultivo con una fuente de agua tal, que sea aceptable para el camarón en cuanto a su salinidad y sus mayoritarios, pero también que sea aceptable para el tomate, para lograr una mayor factibilidad económica.

## 11.0 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ibarra, A., Zambrano, L., Valiente, E.L., Ramos-Bueno, A. 2013. Enhancing the potential value of environmental services in urban wetlands: An agro-ecosystem approach. *Cities* 31, 438-443.
- Anónimo. 2008. Tomates, manuales para producción agropecuaria. SEP. 17 p.
- Araneda, M., Pérez, E., Gasca-Leyva, E., 2008. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: condition state based on length and weight. *Aquaculture* 283, 13–18.
- Balbi, F., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T., Maneiro, C. 2005. Aclimatación a baja salinidad de camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone,1931) provenientes de criaderos comerciales, *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40 (2),109-115.
- Berg, H. 2002. Rice monoculture and integrated rice-fish farming in the Mekong Delta, Vietnam—economic and ecological considerations. *Ecological Economics* 41, 95-107.
- Boyd, C.E., Thunjai, T. Boonyaratpalin, M. 2003. Dissolved salts in water for inland, low salinity shrimp culture. *Global Aquaculture Advocate* 5, 40–45.
- Boyd, C.E., Thunjai, T. 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *Journal of the World Aquaculture Society* 34(4), 524-532.
- Bockstael, N. E., Freeman, A. M., Kopp, R. J., Portney, P. R., & Smith, V. K. 2000. On measuring economic values for nature. *Environmental Science Technology*, 34, 1384–1389.
- Braaten, R.O., Flaherty, M. 2000. Hidrology of inland brackishwater shrimp ponds in Chachoengsao, Thailand, *Aquaculture Engineering* 23, 295-313.
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Leung-Trujillo, J.R. (1994). The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNN virus and salinity, *Aquaculture* 122, 133-146.
- Bräuer, I., Marggraf, R. 2005. Valuation of ecosystem services provided by biodiversity conservation: an integrated hydrological and economic model to value the enhanced nitrogen retention in renaturated streams. *Valuation and conservation of biodiversity* 193-204.
- Byström, O. 2000. The replacement value of wetlands in Sweden. *Environmental and Resource Economics* 16, 347-362.
- Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clarck, G., Páez-Osuna, F., 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: trays and mechanical dispersal. *Aquaculture* 258, 289–298.
- Caro, M., Cruz, V., Cuartero, J. Estañ, M.T., Bolarin, M.C. 1991. Salinity tolerance of normal-fruited and cherry tomato cultivars. *Plant and Soil* 136, 249-255.
- Collins, A., Russell, B., Walls, A., Hoang, T., 2005. Inland prawn farming: studies into the potential for inland marine prawn farming in Queensland. Department of primary industries and fisheries, Queensland, Australia, 79 p.
- Davis, D. A., I. P. Saoud, W. J. McGraw, D. B. Rouse. 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters. Pages 73-94 in Cruz-Suárez L.E., D. Richque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.G. Gaxiola-Cortés and N. Simoes eds., *Avances en Nutrición Acuícola*, Memorias del VI Simposium

- Internacional de Nutrición Acuícola, 3 al 6 de septiembre del 2002, Cancún Quintana Roo, México.
- Davis, D.A., Arnold, C.R., 1998. The design management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp, *Aquacultural Engineering*. 17, 193-211.
- Engle, C.R., Valderrama, D., 2001. Administración y economía de fincas camaroneras manual de capacitación. En: Haws, M.C. y Boyd, C.E. (Eds). *Metodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*, Managua, Nicaragua. pp. 231-263.
- EPSAR. Manual de gestión 2009. <http://www.epsar.gva.es/sanejament/quienes-somos/INFORME-DE-GESTION-Castellano.pdf2009>
- Esparza-Leal, H.M., Ponce-Palafox, J.T., Aragón-Noriega, E.A., Arredondo-Figueroa, J.L., García-Ulloa, M., Valenzuela-Quiñonez, W. 2010. Growth and performance of the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone) cultured in low-salinity water with different stocking densities and acclimation times. *Aquaculture Research*. 41, 878-883.
- Esparza-Leal, H.M., Ponce-Palafox, J.T., Valenzuela-Quiñonez, W., Arredondo-Figueroa, J.L., Garcia-Ulloa, M. 2010. Effects of density on growth and survival of juvenile pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, reared in low-salinity well water. *Journal of the World Aquaculture Society*. 41:4, 648-654.
- FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. <http://www.fao.org/fishery/statistics/es>
- Fast, A.W., Menavesveta, P. 2000. Some recent issues and innovations in marine shrimp pond culture, *Fish Science* 8, 151-233.
- Fernando, C.H., Halwart, M. 2000. Possibilities for integration of fish farming into irrigation systems. *Fisheries Management and Ecology* 7, 45-54.
- Fierro-Sañudo, J.F. 2011. Análisis de factibilidad económica del cultivo integral de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y cultivo hidropónico de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill) utilizando agua de pozo con baja salinidad y baja tasa de recambio. Tesis de licenciatura. FACIMAR-UAS. 53 p.
- Flaherty, M., Szuster, B.W., Miller, P. 2000. Low salinity shrimp farming in Thailand. *Ambio* 29, 174–179.
- Freeman III, A.M. 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, Second edition. Resources for the Future, Washington, DC.
- Green, B.W. 2008. Stocking strategies for production of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in amended freshwater in inland ponds. *Aquaculture Research* 39, 10–17.
- Gren, I.M. 1994. The value of investing in wetlands for nitrogen abatement. *European Review of Agricultural Economics* 22, 157-172.
- Hernández-Llamas, A., González-Becerril, A., Hernández-Vázquez, S., Escutia-Zúñiga, S. 2004. Bioeconomic analysis of intensive production of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquaculture Research*, 35, 103-111.
- Hopkins, J.S., Hamilton, R.D., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., Stokes, A.D., 1993. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 24, 304–320.
- Hougnér, C., Colding, J., & Söderqvist, T. 2006. Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden. *Ecological Economics* 59, 364–374.

- Huo-Sheng, L., Shao-Qui, Z., Yan-Bo, S., Ping, F., Jing-Da, L. 2009. Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant. *Journal of Hazardous Materials* 172, 408-415.
- Ingram, B.A., Gooley, G.J., McKinnon, L.J., De Silva. S.S. 2000. Aquaculture-agriculture systems integration: an Australian prospective. *Fisheries Management and Ecology* 7, 33-43.
- Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora. (2001). Directorio estatal de acuicultores, Secretaría de Desarrollo Económico y Productividad, Hermosillo, Sonora, México, pp.1-8
- Laramore, S., C.R., Laramore., J. Scarpa. 2001. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 32(4), 385-392.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance: current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE* 103 (IR2), 115–134.
- Magán, J.J., Casas, E., Gallardo, M., Thompson, R.B., Lorenzo, P., 2005. Uptake concentrations of a tomato crop in different salinity conditions. *Acta Horticulturae* 697, 365–369.
- Magán, J.J., Gallardo, M., Thompson, R.B., Lorenzo, P., 2008. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouse in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management* 95, 1042–1055.
- Manahan, S.E. 2000. *Environmental Chemistry*. CRC Press LLC.USA. 235-236 p.
- Mariscal-Lagarda, M.M., Esquer-Méndez, J.L., Páez-Osuna, F., 2010. Shrimp study uses low-salinity groundwater in Sonora, Mexico. *Global Aquaculture Advocate* 13 (E3), 42–43.
- Mariscal-Lagarda, M.M., Páez-Osuna, F., Esquer-Mendez, J.L., Guerrero-Monroy, I., Romo del vivar, A., Felix-Gastelum, R. 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. *Aquaculture* 336-367, 76-84.
- Mariscal Lagarda, M.M., Paez-Osuna F., Zárata Valdez, J.C., Llamas Hoyos, R., Esquer Mendez, J.L., Padilla Melendez R. 2007. Cultivo de camarón blanco utilizando agua de pozo con baja salinidad y tasa de recambio cero en la costa de Hermosillo, Sonora: un sistema viable y promisorio. *Global aquaculture advocate* 4(1), 8-9.
- Mcgraw, W.J., Scarpa, J., 2004. Mortality of freshwater acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture* 236, 285-296.
- McIntosh, R.P., Fitzsimmons, K., 2003, Characterization of effluent from an inland, low salinity shrimp farm: what contribution could this water make if use for irrigation. *Aquacultural Engineering* 27, 147-156.
- McMurtry, M.R., Sanders, D.C., Hodson, R.G., Haning, B.C., Amand, P.C. 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 28, 420-428
- McNevin AA, Boyd CE, Silapajarn O, Silapajarn K. 2004. Ionic supplementation of pond waters for inland culture of marine shrimp. *Journal of the World Aquaculture Society* 35: 460–467.
- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D., Brambilla-Gómez, M.A., Frías-Espericueta, M.G., Simental, J. 2007. Effluent characteristics and nutrient loading of a semi-intensive shrimp farm in NW Mexico. *Vieu et Milleu* 57 (1–2), 21–27.

- Miranda, F.R., Lima, R.N., Crisóstomo, L.A., Santana, M.G.S. 2008. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquacultural Engineering*. 39, 1-5.
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., Sala-Garrido, R. 2010. Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment* 408, 4396-4402.
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., Sala-Garrido, R. 2011. Costebenefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management* 92, 3091-3097.
- Molineux, C. J. 1996. A practical guide to N.F.T., Snape and Co., Preston Lancashire.
- Moreira de souza, D., Medeiros-Suita, S., Leivas-Leite, F.P., Romano, L.A., Wasielesky, W., Cupertino-Ballester, L.E. 2011. The use of probiotics during the nursery rearing of the pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) in a zero exchange system. *Aquaculture Research* 1-10.
- Moss, S.M., Leung, P. 2006. Comparative Cost of Shrimp Production: Earthen Ponds Versus Recirculating Aquaculture Systems. *Shrimp Culture: Economics, Market, and Trade*. Blackwell Publishing. 291-300 pp.
- Moss, S.M. (2002). Marine shrimp farming in the western hemisphere: Past problems, presents solutions and future visions, *Fisheries Science* 10, 1-20.
- Muñoz. 2005. Comentario personal.
- Nafinsa, OEA (1998). Diplomado en el ciclo de vida de los proyectos de inversión "formulación y evaluación", Nacional Financiera, México, D.F., 154 pp.
- Ocean Garden, (2003). <http://www.oceangarden.com/spanish/html/span.html>.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R., Ruiz-Fernández, A.C., Espinoza-Angulo, R., 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-West Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 34, 290-297.
- Pérez-Espejo, R., Ávila-Foucat, S., Aguilar-Ibarra, A. 2010. Introducción a las economías de la naturaleza. México, DF. 39 p.
- Prinsloo, J.F., Schoonbee, H.J. 1987. Investigation into the feasibility of a duckfish-vegetable integrated agriculture-aquaculture system for developing areas in South Africa, *Water SA*. 13 (2), 109-118.
- Prinsloo, J.F., Schoonbee, H.J. 1993. The utilization of agricultural by-products and treated effluent water for aquaculture in developing areas of South Africa. *Suid Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 12 (3), 72-79.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M., Masser M.P., (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture, Southern Regional Aquaculture Center, no 452, pp.1-6
- Reid, B., and C.R. Arnold. 1992. The intensive culture of the Penaeid shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a recirculating raceway system. *Journal of the World Aquaculture Society* 23, 146-153.
- Rocher, V., Paffoni, C., Gonçalves, A., Azimi, S., Pauss, A. 2012. Municipal wastewater treatment by biofiltration: Comparisons of various treatment layouts. Part 2: Assessment of the operating costs in optimal conditions. *Water Science & Technology* 65.9, 1713-1719.
- Samocha, T.M., Hamper, L., Emberson C.R., Davis, A.D., McIntosh, D., Lawrence, A.L., Van Wyk, P.M., 2002. Review of some recent developments in sustainable

- shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida, *Journal of Applied Aquaculture* 12, 1-42.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.R., Emberson, C.R., Harvin, J.L., Van Wyk, P.M. 2001. Development of integrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei*, pp. 64-75. In: the new wave proceedings of the special session on sustainable shrimp farming. (Browdy, C.L. and Jory, D.E., eds.), Baton Rouge, USA.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Pooser, D., 1998. Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system. *The Israeli Journal of Aquaculture* 50, 55-59.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.A., Castille, F.L., Bray, W.A., Davies, C.J., Lee, P.G., Wood, G.F., 2004, Production of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high density greenhouse enclosed raceways using low salinity groundwater. *Journal of Applied Aquaculture* 15, 1-19.
- Samperio-Ruiz, G. 1999, *Hidroponia Básica*, ed. DIANA, México, D.F., 153 p.
- Samperio-Ruiz, G. 2000. *Hidroponia Comercial*. Ed. DIANA, México, D.F. 157 p.
- Shabman, L.A., Batie, S., 1978. Economic value of natural coastal wetlands: a critique. *Coastal Zone Management Journal* 4, 231–247.
- SIAP, 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) Gobierno Federal, SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/index.php> (noviembre 18, 2012).
- Silva-Castro, R., Borges-Acevedo, C., Bezerra-Neto, F., 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. *Scientia horticultrae* 110, 44-50.
- Smith, D.M., Burfod, M.A., Tabrett, S.J., Irvin, S.J., Ward, L., 2002. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture* 207, 125–136.
- Shang, C. Y., (1990), *Aquaculture Economic Analysis an Introduction*, The World Aquaculture Society, E.U.A., 201 pp.
- Shi, Z-Q., Jobin-Lawler, F., Gosselin, A., Papadopoulus, A.P. 2002. Effects of Different EC Management on Yield, Quality and Nutraceutical Properties of Tomato grown under Supplemental Lighting. *Acta Horticulturae* 580, 241-247.
- Thanh-Be, T., Canh-Dung, L., Brennan D. 2011. Environmental costs of shrimp culture in the rice-growing regions of the Mekong Delta. *Aquaculture Economics & Management* 3 (1), 31-42.
- Thi Anh, P., Kroeze, C., Bush, S.R., Mol, A.P.J., 2010. Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: causes and options for control. *Agricultural Water Management* 97, 872–882.
- Uresti-Pesina, R., García-Delgado, M.A., Resendíz-Ramírez, Z., Bustos-Vázquez, G., Basanta-Cornide, R. 2008. Cultivo de Tomate Cherry en un Sistema Hidropónico. Tesis de licenciatura. UAT-UAM Mante. 7 p.
- Van Wyk, P.M. 1999. Principles of recirculating system design. In: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*, Florida Department of Agriculture and Consumer Services (eds.), USA, pp. 59-97.
- Van Wyk, P.M., Scarpa, J. (1999). Water quality requirements and management. Florida Department of Agriculture and Consumer Service (eds.), USA, pp 141-161.

- Wudtisin, I., Boyd, C.E., 2011. Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity ponds water in Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society* 42, 766–777.
- [www.bluenext.eu](http://www.bluenext.eu). 2011. accesada en febrero.
- [www.carbontrust.co.uk](http://www.carbontrust.co.uk). 2012. accesada en diciembre.
- [www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx)
- [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx). 2012. accesada en diciembre.
- Yang, W., Chang, J., Xu, B., Peng, C., Ge, Y. 2008. Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: A case study in Hangzhou, China. *Ecological Economics* 68, 116-125.
- Zamalloa, C., Boon, N., Verstraete, W. 2013. Decentralized two-stage sewage treatment by chemical–biological flocculation combined with microalgae biofilm for nutrient immobilization in a roof installed parallel plate reactor.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. 717 pp.
- Zendejas, H.J., 1994. Manejo del alimento de camarón. En: Zendejas H.J. (Ed.), *Seminario Internacional sobre camaronicultura en México, Camarón 94*. Mazatlán Sin. February 10–12, 1994. Purina S.A. de C.V., México D.F., pp. 1–20.

## 12.0 ANEXOS

### Anexo 1a. Inversión fija para el cultivo camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>ACTIVO FIJO</b>				
<b>1.0.- OBRA CIVIL</b>				
Trazo y nivelación	Has.	1.00	25,000.00	25,000.00
Volumen de tierra para Formación de Bordos Compactados al 95% PROCTOR para Estanqueria con préstamo lateral (Incluye: Extendido, Escarificación y Agua)	M3	5,998.00	18.00	107,964.00
Estructuras de Control para llenado de estanques	Pieza	1.00	35,000.00	35,000.00
Estructuras de Control para vaciado de estanques	Pieza	1.00	35,000.00	35,000.00
Casa sombra una hectárea	Unidad	1.00	400,000.00	400,000.00
			<b>SUBTOTAL</b>	602,964.00
			<b>Imprevistos (5 % )</b>	30,148.20
			<b>TOTAL</b>	633,112.20
<b>2.0.- EQUIPO DE SERVICIO</b>				
Bomba de acero con flujo axial de 10 plg de Diámetro.	Pieza	1.00	18,000.00	18,000.00
Bomba centrífuga 1HP	Pieza	1.00	1,850.00	1,850.00
Motor diesel de 70 hp	Pieza	1.00	52,000.00	52,000.00
Motobomba a gasolina de 2 " y 4 hp	Pieza	1.00	5,782.50	5,782.50
Planta Elect. de 5000 W a Gasolina 8HP	Pieza	1.00	17,463.60	17,463.60
Aireadores de paleta de 7.5 hp cada uno	piezas	2.00	35,340.00	70,680.00
arrancadores de 7.5 hp trifasicos para 220	Pieza	2.00	1,463.00	2,926.00
Instalación eléctrica para aireadores	instalación	1.00	3,000.00	3,000.00
			<b>TOTAL</b>	171,702.10

### Anexo 1b. Inversión fija para el cultivo camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>3.- EQUIPO AUXILIAR</b>				
<b>3.1.- Equipo para monitoreo de calidad del agua y de laboratorio.</b>				
Oxímetro Ysi modelo 55-12FT con cable y membrana	Pieza	1.00	9,849.00	9,849.00
Refractómetro SALINOMETRO 0-100PPT	Pieza	1.00	2,350.00	2,350.00
Potenciómetro HANNA HI98127 con buffers de calibración	Pieza	1.00	2,530.56	2,530.56

Termómetro amarillo rango -20 a 150	Pieza	2.00	85.50	171.00
Microscopio estereoscópico BINOCULAR 20-40X MOD.LUXEO 2S	Pieza	1.00	5,400.00	5,400.00
Vasos de precipitado de 100 ml	Pieza	4.00	32.30	129.20
Balanza electrónica M-PROVE 510G/0.1G	Pieza	1.00	3,006.00	3,006.00
<b>TOTAL</b>				<b>23,435.76</b>
<b>3.2.- Material y equipo empleado para armar filtros en estructuras de control</b>				
Madera de pino de 2" de grueso para armar marcos de filtros	Pies	54.00	11.00	594.00
Madera de pino de 2" de grueso para armar agujas de control	Pies	104.00	11.00	1,144.00
Malla mosquitero verde	Rollo	1.00	390.00	390.00
Malla de criba # 4	Rollo	1.00	589.00	589.00
Calhidra	Saco	1.00	52.00	52.00
Cebo de res para sellar agujas de control	Kg	1.00	10.00	10.00
SERRUCHO	Pieza	1.00	219.00	219.00
Martillo de una	Pieza	1.00	135.00	135.00
Taladro	Pieza	1.00	849.00	849.00
Cierra circular	Pieza	1.00	3,525.00	3,525.00
Cinta métrica de 3 m.	Pieza	1.00	39.50	39.50
Arco y segueta	Pieza	1.00	155.00	155.00
Chivas de fierro	Pieza	1.00	150.00	150.00
Tijeras para lamina	Pieza	1.00	225.00	225.00
<b>TOTAL</b>				<b>8,076.50</b>

### Anexo 1c. Inversión fija para el cultivo camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>3.3.- Herramienta de trabajo</b>				
Juego de dados	Lote	1.00	409.00	409.00
Juego de desarmadores	Lote	1.00	229.00	229.00
Juego de llaves 1 / 4" a 1 "	Lote	1.00	449.00	449.00
Pinzas de presión	Pieza	1.00	165.00	165.00
Pinza eléctrica	Pieza	1.00	275.00	275.00
Pinza mecánica	Pieza	1.00	82.50	82.50
Juego de brocas para taladro 1/16" a 3 / 4"	Lote	1.00	219.00	219.00

---

TOTAL

1,828.50

3.4.- Equipo y utensilios de cocina

Refrigerador	Pieza	1.00	4,920.00	4,920.00
Estufa de 4 quemadores	Pieza	1.00	3,360.00	3,360.00
Alacena de madera	Pieza	1.00	3,025.00	3,025.00
Cilindro de gas de 30 k.	Pieza	1.00	3,544.57	3,544.57
Sillas de plástico	Pieza	8.00	855.00	6,840.00
Bote de plástico para basura de 76 l.	Pieza	2.00	129.00	258.00
Licuadaora	Pieza	1.00	119.00	119.00
Vasos de plástico	Pieza	6.00	419.00	2,514.00
Tasas	Pieza	6.00	5.49	32.94
Escurreidor de platos con base	Pieza	1.00	19.90	19.90
Plato sopero	Pieza	6.00	72.90	437.40
Plato plano	Pieza	6.00	19.90	119.40
Azucarera	Pieza	1.00	16.79	16.79
sartén con teflón mediano	Pieza	3.00	11.79	35.37
mesa de plastico tablón	Pieza	1.00	267.00	267.00
Olla de 7.6 l.	Pieza	1.00	219.00	219.00
Cuchara grande	Pieza	1.00	15.09	15.09
Cuchara escurridora	Pieza	1.00	29.09	29.09
Cuchara sopera	Pieza	6.00	14.80	88.80
Colador	Pieza	1.00	18.90	18.90
Exprimidor de limones	Pieza	1.00	40.00	40.00
Abrelatas	Pieza	1.00	39.90	39.90
Cuchillo	Pieza	3.00	49.90	149.70
Recogedor	Pieza	1.00	38.75	38.75
Escoba plástica	Pieza	1.00	52.90	52.90
Tinaco de plástico para agua	Pieza	1.00	3,704.00	3,704.00

potable.( 2500 lt)

**TOTAL**

**29,905.50**

### Anexo 1d. Inversión fija para el cultivo camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>3.5.- Equipo para muestreo de población, Crecimiento y monitoreo de alimento</b>				
Atarraya con luz de malla de 1 / 2" y 9 m2	Pieza	1.00	800.00	800.00
Atarraya con luz de malla de 1 / 16" y 9 m2	Pieza	1.00	800.00	800.00
Indicadores de alimento	Pieza	72.00	50.00	3,600.00
Boyas para indicadores de alimento	Pieza	72.00	20.00	1,440.00
<b>TOTAL</b>				<b>6,640.00</b>
<b>3.6.- Materiales para cultivo de tomate y lechuga</b>				
grava	M3	113.40	270.00	30,618.00
bolsas para invernadero	kg	900.00	35.00	31,500.00
rollo de polietileno calibre 600	Rollo	21.00	2,774.00	58,254.00
Rollo de manguera ciega para riego	Rollo	62.50	700.00	43,750.00
Valvulas para riego agricola	Pieza	280.00	11.00	3,080.00
Elevadores para riego agricola	Pieza	280.00	1.70	476.00
Gomas para riego aricola	Pieza	280.00	0.90	252.00
Hoja de poliuretano	Pieza	3,364.00	150.00	504,600.00
Vasos para cultivo de lechuga hiddroponica	Pieza	90,828.00	7.00	635,796.00
Semilleros	Pieza	378.45	43.50	16,462.58
<b>TOTAL</b>				<b>1,324,788.58</b>
<b>3.7.- Otros</b>				
Palas	Pieza	4.00	195.00	780.00
Carretilla	Pieza	1.00	906.00	906.00
Diablo	Pieza	1.00	495.00	495.00
Quita filtro	Pieza	1.00	34.50	34.50
Pistola para silicon	Pieza	1.00	49.50	49.50
Silicon de 10.3 oz.	Pieza	1.00	61.90	61.90
Piedra aereadora de 30 cm x 2"	Pieza	4.00	120.00	480.00
Conexión de 4 válvulas de 1 / 2 "	Pieza	1.00	250.00	250.00
Guantes de lona	Par	10.00	37.50	375.00
Botas de hule	par	10.00	150.00	1,500.00
Linterna	Pieza	2.00	80.00	160.00
Cable eléctrico # 12	M.	20.00	6.60	132.00
Focos de 100 watts	pieza	4.00	6.00	24.00

Engrasadora	Pieza	1.00	700.00	700.00
Cubetas de plástico de 20 l	Pieza	5.00	65.90	329.50
Bascula de plataforma para 100 k.	Pieza	1.00	2,800.00	2,800.00
Manguera corrugada de 2"	M.	10.00	55.00	550.00
manguera cristalina de 1 / 4 "	M.	10.00	3.00	30.00
<b>TOTAL</b>				9,657.40
<b>TOTAL EQUIPO AUXILIAR</b>				1,404,332.24

#### 4.0.- MOBILIARIO Y EQUIPO DE OFICINA

Escritorio	Pieza	1.00	2,149.00	2,149.00
Sillon ejecutivo para escritorio	Pieza	1.00	1,449.00	1,449.00
Modulo universal de 1.80 en panel (esc. Lat. Y credenza)	Pieza	1.00	5,999.00	5,999.00
Repiza para escritorio	Pieza	1.00	899.00	899.00
Silla secretarial con pistón neumático base de 5 puntas y tapiz en tela	Pieza	1.00	719.00	719.00
Calculadora electrónica de 12 dígitos	Pieza	1.00	119.00	119.00
Enfriador de agua de 2 tomas fría - caliente	Pieza	1.00	3,099.00	3,099.00
Silla de visita con estructura cromada	Pieza	2.00	158.00	316.00
Archivero metálico con 4 Cajones	Pieza	1.00	2,349.00	2,349.00
Computadoras 486	Pieza	1.00	11,499.00	11,499.00
Multifuncional	Pieza	1.00	1,199.00	1,199.00
<b>TOTAL</b>				29,796.00

### Anexo 1e. Inversión fija para el cultivo camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>5.0.- EQUIPO DE TRANSPORTE</b>				
Camioneta pick-up standar Nissan 4 cil.	Pieza	1.00	135,000.00	135,000.00
<b>TOTAL</b>				135,000.00
<b>6.0.- ACTIVOS DIFERIDOS</b>				
Elaboración del proyecto	Pieza	1.00	40,000.00	40,000.00
Gastos preliminares ( gestiones, papeleria,viáticos,gasolina, etc.)	Lote	1.00	30,000.00	30,000.00
<b>TOTAL</b>				70,000.00
<b>TOTAL DE ACTIVO FIJO</b>				2,443,942.54

Anexo 2a. Costos de operación del cultivo integrado camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>1.1.- Materia prima.</b>				
<b>CAMARÓN</b>				
Postlarvas	Millar	1,500.0	62.500	93,750.0
<b>Alimento</b>				
35 % proteína	Tonelada	2.0	13,000.0	25,415.7
30% proteína	Tonelada	17.9	12,500.0	224,004.8
Nutrilake	Tonelada	0.01	15,000.0	192.0
<b>TOMATE</b>				
Charola de plántula	unidad	274.00	300	82,200.00
Anillos para tutoreo	Caja	4.50	1340	6,030.00
Hilo para soporte de planta, Cal 2050	Kg	36.00	200	7,200.00
<b>LECHUGA</b>				
semilla	g	181.66	10	1,816.56
<b>TOTAL</b>				<b>440,609.1</b>
<b>1.2- Combustibles y lubricantes</b>				
<b>Equipo de transporte</b>				
Gasolina	Litros	1,152.0	13.0	14,976.0
<b>Motor de bombeo</b>				
Diesel	Litros	127.8	13.0	1,661.1
Aceite	Litros	40.5	80.0	3,240.3
<b>bombeo de reigo de tomate</b>				
Energía eléctrica	Lote	2	6500	13000
<b>TOTAL</b>				<b>32,877.4</b>
<b>1.3.- Mantenimiento a vehículos y motores</b>				
<b>Equipo de transporte</b>				
	servicio	3.0	2,000.0	6,000.0
<b>Motor de bombeo</b>				
Filtro de aceite	Pieza	2.0	450.0	911.3
Filtro de aire	Pieza	2.0	650.0	1,316.4
Filtro de combustible	Pieza	2.0	150.0	303.8
Reparaciones en general	Reparación	1.0	5,000.0	5,000.0
<b>TOTAL</b>				<b>13,531.5</b>

Anexo 2b. Costos de operación del cultivo integrado camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>1.6.- Remuneración al personal al año</b>				
<b>CAMARÓN</b>				
Jefe de producción	Mensual	1.00	2,500.00	120,000.00
velador	Mensual	1.00	900.00	43,200.00

operarios	Mensual	2.00	900.00	86,400.00
<b>LECHUGA Y TOMATE</b>				
Mano de obra para todas las labores del ciclo de producción	Obrero	8	120	288,000.00
eventuales para cosecha	eventual	5	200	2,000.00
	<b>TOTAL</b>			<b>539,600.00</b>
Subtotal de costos variables				1,026,618.00
Imprevistos (3 % de Costos Variables)				30,798.54
<b>TOTAL DE COSTOS VARIABLES</b>				<b>1,057,416.54</b>

### Anexo 2c. Costos de operación del cultivo integrado camarón-tomate-lechuga a una hectárea de superficie de cultivo.

	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
<b>2.0.- COSTOS FIJOS</b>				
<b>2.1.- Gastos administrativos</b>				
Contador (despacho)	Mensual	1.00	2,500.00	30,000.00
Secretaria	Mensual	1.00	4,000.00	48,000.00
	<b>TOTAL</b>			<b>78,000.00</b>
<b>2.2.- Gastos de oficina</b>				
Papelería (hojas, lápices, plumas, borradores, disket, pasantes etc.)	Mensual	1	500	6,000.00
Pago de energía eléctrica	Mensual	1	200	2,400.00
Pago de agua	Mensual	1	100	1,200.00
Pago de teléfono	Mensual	1	500	6,000.00
No se considera Renta de oficina				
	<b>TOTAL</b>			<b>15,600.00</b>
<b>2.2.- Gastos de previsión social</b>				
Se considera el 25 % del Total de Sueldos y Salarios	Mensual	1.00	12,241.67	146,900.00
	<b>TOTAL</b>			<b>146,900.00</b>
<b>2.3.- Seguros</b>				
Vehículos (5%)	Anual	1.00	6,750.00	6,750.00
Equipo de laboratorio (5%)	Anual	1.00	1,171.79	1,171.79
Maquinaria y equipo (2%)	Anual	1.00	3,434.04	3,434.04
Obra civil (.42%)	Anual	1.00	2532.4488	2,532.45
	<b>TOTAL</b>			<b>13,888.28</b>
<b>2.4.- Análisis bacteriológicos</b>				
Análisis a organismos durante el cultivo	Mensual	1.00		
	<b>TOTAL</b>			
<b>2.5.- Capacitación</b>				
Asistencia a cursos, congresos y adiestramiento ( 0.3% sobre costos variables )	Mensual	1.00	2,643.54	31,722.50
	<b>TOTAL</b>			<b>31,722.50</b>
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>				<b>286,110.78</b>
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACION</b>				<b>1,343,527.32</b>