

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN PARA  
EL MANTENIMIENTO DE POSTLARVAS Y JUVENILES DE ABULÓN ROJO,  
*HALIOTIS RUFESCENS*.

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

PRESENTA:

**GESEM SAMSERAI CERVANTES VÁZQUEZ**

Ensenada, Baja California, México. Septiembre, 2020

Resumen de la tesis que presenta Gesem Samserai Cervantes Vázquez como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera, titulado:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE POST-LARVAS DE ABULÓN ROJO “*HALIOTIS RUFESCENS*”**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Juan Gabriel Correa Reyes  
Director de Tesis

Una de las limitantes en la producción del cultivo de abulón en México es la supervivencia que presentan estos organismos durante sus estadios de post-larva y juvenil temprano. El diseño de un Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) específicamente para estos estadios de vida de *Haliotis rufescens*, reduce los principales problemas (calidad del agua y disponibilidad de alimento) que se presentan durante las etapas mencionadas. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar y comparar el crecimiento y supervivencia de post-larvas de abulón rojo *Haliotis rufescens* al usar un SRA contra un sistema de flujo abierto (SFA) y un sistema estático (SE). Para tal efecto se construyeron tres sistemas con cuatro unidades de cultivo de 3.5 L y con 1,227cm<sup>2</sup> de superficie cada uno. Estas unidades fueron sembradas a una densidad de 4.5 post-larvas\*cm<sup>-2</sup>. La supervivencia durante el estadio de post-larva fue 27.1, 23.6 y 13.9% para el SE, SRA y SFA, con tasas de crecimiento en términos de longitud de concha de: 46.6 ± 1.0; 36.1 ± 1.4 y 34.3 ± 1.8 μm\*día<sup>-1</sup>, respectivamente. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre sistemas, los organismos que mostraron mayor ganancia de peso seco orgánico (PSO) fueron los cultivados en el SRA con 0.48 ± 0.05 mg\*org\*día<sup>-1</sup>. La supervivencia al final del bioensayo fue de 0.9 y 0.8 % en el SRA y SFA, respectivamente. El SE presentó mortalidad total en la semana seis del cultivo. La tasa de crecimiento de los juveniles fue 53.2 ± 7.4 μm\*día<sup>-1</sup> y 35.1 ± 1.9 μm\*día<sup>-1</sup>, para SRA y SFA, respectivamente. Los juveniles de *Haliotis rufescens* registraron un PSO de 3.0 ± 0.5 y 3.0 ± 0.3 mg\*org\*día<sup>-1</sup> para el SRA y el SFA. Finalmente, la proyección del análisis de rentabilidad indico que a pesar de que la inversión en el SRA es más alta, la recuperación podría ser en menor tiempo y de manera constante a partir de los 3 años de operación, en comparación con el SE y SFA.

**Palabras clave:** *Haliotis rufescens*, supervivencia, crecimiento, Sistema de Recirculación Acuícola.

Abstract of the thesis presented by Gesem Samserai Cervantes Vázquez as a partial requirement for obtaining the degree of Master of Science in Coastal Oceanography, titled:

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RECIRCULATION SYSTEM FOR THE MAINTENANCE OF POST-LARVAE OF RED ABALONE, *Haliotis rufescens***

Abstract approved by:

---

Dr. Juan Gabriel Correa Reyes  
Thesis Director

One of the limitations in the production of abalone culture in Mexico is the survival of these organisms during their post-larvae and early juvenile stages. A SRA designed specifically for these life stages of *Haliotis rufescens*, could reduce the main problems that arise in these stages such as water quality and food availability. For this reason aim of this research was to evaluate and compare in terms of growth and survival, the use of an aquaculture recirculation system (SRA, by its acronym in Spanish) against an open flow system (SFA, by its acronym in Spanish), and a static system (SE, by its acronym in Spanish) for culture of red abalone post-larvae *Haliotis rufescens*. Three systems were built with four units of 3.5 L each one, and 1,227 cm<sup>2</sup> of surface each, planted a density of 4.5 post-larvae\*cm<sup>-2</sup>. Survival during the post-larva stage was 27.1, 23.6 and 13.9% for the SE, SRA and SFA respectively. During the post-larva stage the growth rates in terms of shell length were: 46.6 ± 1.0; 36.1 ± 1.4 and 34.3 ± 1.8 µm\*day<sup>-1</sup> for SE, SRA and SFA respectively. Although no statistical differences were found between systems, the organisms that showed the highest organic dry weight gain (PSO, by its acronym in Spanish) were those that were grown in the SRA with 0.48 ± 0.05 mg \* org<sup>-1</sup>. Survival at the end of the bioassay was 0.9% and 0.8 in the SRA and in the SFA. The SE presented a total mortality at week six. The growth rates of juveniles were 53.2 ± 7.4 µm \* day<sup>-1</sup> and 35.1 ± 1.9 µm \* day<sup>-1</sup>, for SRA and SFA, respectively. Juveniles of red abalone recorded a PSO of 3.0 ± 0.5 and 3.0 ± 0.3 mg \* org<sup>-1</sup> for the SRA and SFA.

**Keywords:** *Haliotis rufescens*, survival, increase, Recirculation Aquaculture System.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLOGICAS  
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN PARA  
EL MANTENIMIENTO DE POST-LARVAS DE ABULÓN ROJO, *HALIOTIS*  
*RUFESCENS*.**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta:

**GESEM SAMSERAI CERVANTES VAZQUEZ**

Aprobada por:

---

**Dr. Juan Gabriel Correa Reyes**  
Director de Tesis

---

**Dra. Fabiola Lafarga de la Cruz**  
Sinodal

---

**Dr. Enrique Valenzuela Espinoza**  
Sinodal

---

**Dra. Tatiana N. Olivares Bañuelos**  
Sinodal

**DEDICATORIA:**

*A mis padres, porque aun con su poca experiencia y conocimiento, me heredaron mucho más que rasgos físicos y fueron mi primera guía. Sin ellos, no sería lo que soy.*

*A mi hermano, por siempre apoyar mis proyectos personales, creativos y destructivos.*

*A mi bebe, Erika, por estar viva, completa, saludable y hacer esta trayectoria mucho más feliz.*

*A mi esposo, Erik, por sentarse a mi lado cuando mi luz se apagó y enseñarme a brillar de nuevo.*

*A mi abuelita Zeferina y mi abuelito Salatiel, por siempre cuidarme y alentarme desde cualquier lugar.*

*A mi tío Luis, por brindarme más haya que una simple herramienta de escritorio para culminar mis diferentes proyectos.*

**AGRADECIMIENTOS:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para alcanzar esta meta.

A la Universidad Autónoma de Baja California, en especial al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por haberme aceptado en su programa de Maestría y por brindarme el apoyo para mis estudios.

Al Dr. Gabriel Correa, por aceptarme como su estudiante, por su apoyo incondicional en el proceso de este trabajo y por darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente. Sin sus enseñanzas, sabiduría y profesionalismo nada de esto habría sido posible. Gracias!

A la Dra. Fabiola Lafarga, por su apoyo incondicional, paciencia, asesoría, y amistad.

A la Dra. Tatiana Olivares, por todo su apoyo y enseñanzas.

Al Dr. Enrique Valenzuela, por tener paciencia en este proyecto y por sus valiosos aportes y tan acertados comentarios.

A la M. en C. Alejandra Ferreira, Técnico del laboratorio de Microalgas, por todas sus enseñanzas y apoyo.

Al Dr. Eduardo Santamaría, por tener paciencia y ayudarme a entender la estadística.

Al Dr. Alfredo Salas, por enseñarme a valorar cada una de las experiencias, ya sean buenas o malas.

A Enrique Vázquez y a Noé Cruz García, por las facilidades en la obtención y/o donación de los organismos utilizados para la obtención de post-larva.

A todas esas personas que se han cruzado en mi vida y de alguna manera la han nutrido.

Finalmente, agradezco los momentos difíciles de la vida, porque de ellos aprendí más, analice mejor, corregí mi camino y me ayudaron a valorar la grandeza de estar aquí.

**GRACIAS!**

---



---

**ÍNDICE**


---



---

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
	1.1. <b>Biología e importancia del Abulón rojo <i>Haliotis rufescens</i>:</b>	<b>1</b>
	1.2. <b>Producción acuícola de abulón rojo en México:</b>	<b>3</b>
	1.3. <b>Sistemas acuícolas para la producción de abulón rojo en México:</b>	<b>4</b>
	1.4. <b>Problemas en estadios tempranos del cultivo de abulón en Baja California, México:</b>	<b>6</b>
	1.5. <b>Los sistemas de recirculación acuícola (SRA) como alternativa para la producción de Abulón rojo:</b>	<b>7</b>
	1.6. <b>Análisis financieros de proyectos acuícolas:</b>	<b>9</b>
<b>II.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>11</b>
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>IV.</b>	<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>V.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
	5.1 <b>Construcción de sistemas experimentales:</b>	<b>17</b>
	5.1.1 <b>Sistema de Flujo Abierto (SFA)</b>	<b>17</b>
	5.1.2 <b>Sistema de recirculación acuícola (SRA)</b>	<b>18</b>
	5.1.3 <b>Sistema estático</b>	<b>20</b>
	5.2 <b>Determinación de Calidad de agua</b>	<b>21</b>
	5.3 <b>Evaluación del crecimiento y supervivencia de post-larvas y juveniles de abulón en los sistemas de cultivo</b>	<b>23</b>
	5.3.1 <b>Obtención de organismos</b>	<b>23</b>
	5.3.2 <b>Desarrollo larval</b>	<b>24</b>
	5.3.3 <b>Evaluación de post-larva</b>	<b>27</b>
	5.4 <b>Análisis de rentabilidad</b>	<b>33</b>
	5.5 <b>Análisis estadístico</b>	<b>37</b>

---

---

---

**ÍNDICE**  
(Continuación)

---

---

<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
	6.1 Evaluación de la calidad de agua de los sistemas experimentales	40
	6.2 Etapa larval	43
	6.2.1 Desarrollo y supervivencia larval	43
	6.3 Crecimiento y supervivencia de post-larvas de abulón rojo en los sistemas de cultivo	44
	6.3.1. Tasa de asentamiento	44
	6.3.2. Supervivencia de post-larvas	47
	6.3.3. Crecimiento de post-larvas	48
	6.3.4. Peso de post-larvas	50
	6.4 Supervivencia y crecimiento de juveniles de abulón rojo en los sistemas experimentales	52
	6.4.1 Supervivencia de juveniles	52
	6.4.2 Crecimiento de juveniles	54
	6.4.3 Peso de juveniles	57
	6.5 Rentabilidad financiera	58
<b>VII.</b>	<b>DISCUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>IX.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
<b>X.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>XI.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>

---

---

LISTA DE FIGURAS		
Figura	Descripción	Página
<b>Figura 1</b>	Características externas del abulón rojo ( <i>Haliotis rufescens</i> ).	1
<b>Figura 2</b>	Producción en toneladas métricas de abulón rojo en México por acuicultura: representando por los diagramas de barra la producción y el valor de la producción (Dólares), representados por la línea continua. (FAO, 2019).	3
<b>Figura 3</b>	Etapas del ciclo de vida del abulón ( <i>Haliotis</i> spp) tomadas como base para el diseño de los sistemas experimentales.	4
<b>Figura 4</b>	Principales problemáticas de larvas y post-larvas de abulón, presentes en cultivos con SFA, que pueden ser erradicados dentro de un SRA.	6
<b>Figura 5</b>	Componentes básicos de un SRA horizontal: a) Estanque; b) Filtro mecánico; c) Filtro Biológico; d) Bomba de aire y e) Difusores de aire. Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema (Imagen tomada de Domínguez-Castañedo, 2014)	8
<b>Figura 6</b>	Configuración del sistema de flujo abierto (SFA) para el mantenimiento de post-larvas de <i>H. rufescens</i> , en donde: TC) Tanque de compensación; B) Bomba de agua; CH) Chiller; LUV) Filtro de luz ultravioleta y con números (1 a 4) las unidades experimentales. Las líneas continuas indican el flujo del agua y las líneas discontinuas el flujo de agua de desecho.	18
<b>Figura 7</b>	Configuración del sistema de recirculación acuícola (SRA) para el mantenimiento de post-larvas de <i>H. rufescens</i> , en donde: TC) Tanque de compensación; B) bomba de agua; BF) Biofiltro de Beads; LUV) Filtro de luz ultravioleta y con números (1 a 4) las unidades experimentales. Las líneas continuas indican el flujo del agua y las líneas discontinuas el flujo de agua de	19

desecho.

---



---

**LISTA DE FIGURAS (Continuación)**

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 8</b>	Configuración del sistema estático (SE) para el mantenimiento de post-larvas de <i>H. rufescens</i> , en donde: con números (1 a 4) se indican las unidades experimentales.	20
<b>Figura 9</b>	Respuesta de organismos estimulados con el método de inducción al desove "TRIS-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> " después de 1: 40 horas. a) Expulsión de ovocitos y b) Expulsión de esperma.	24
<b>Figura 10</b>	Imagen de ramificaciones de los tentáculos cefálicos de la larva veliger competente de abulón rojo, observada con un microscopio óptico (200X).	26
<b>Figura 11</b>	Estadios de desarrollo de post-larvas de abulón rojo ( <i>Haliotis rufescens</i> ), identificados durante los primeros 7 días post desove, de acuerdo con Sercy-Bernal <i>et al.</i> , 2007. a) Concha no desarrollada, b) Concha peristomal y c) Concha midasimétrica.	28
<b>Figura 12</b>	Representación gráfica del registro de toma de longitud durante el cultivo de post-larvas de abulón rojo, con el software INFINITY CAPTURE.	30
<b>Figura 13</b>	Valores promedio de supervivencia en porcentaje (%) y desviación estándar de las larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) obtenidas durante el desove del 22 de febrero del 2019. Las cuales fueron utilizadas para realizar el bioensayo de crecimiento en los diferentes sistemas de experimentación (SE, SFA y SRA).	43
<b>Figura 14</b>	Estadios de desarrollo embrionario de abulón rojo <i>Haliotis rufescens</i> , registrados durante el crecimiento de las larvas: a) Fertilización; b) Primera división (2h); c) Larva trocófora (24 h); d) Larva veliger temprana (48 h) y e) Larva competente (6 días).	44

---



---

LISTA DE FIGURAS (Continuación)		
Figura	Descripción	Página
Figura 15	Valores de supervivencia en porcentaje (%) y desviación estándar de las post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) registradas en los sistemas experimentales (SE, SFA y SRA), durante la semana de asentamiento y acondicionamiento al flujo de agua). Las gráficas muestran los valores de mediana, cuartiles 2 y 3 y los intervalos de clase obtenidos en cada sistema experimental. Con letras "a, b y ab" se denotan las diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	46
Figura 16	Valores promedio de supervivencia en porcentaje (%) y desviación estándar de las post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ), registrados semanalmente en los Sistemas Estático (SE), Sistema de Flujo Abierto (SFA) y Sistema de Recirculación (SRA) durante un periodo de 4 semanas.	47
Figura 17	Valores promedio de supervivencia en porcentaje (%) de post-larvas del abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ), registrada al final de la 4ta semana de cultivo en los sistemas experimentales (SE, SFA y SRA). Los gráficos muestran los valores de mediana, cuartiles 2 y 3 y los intervalos de clase obtenidos en cada sistema experimental. Con letras "a y b se indican los sistemas que presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	48
Figura 18	Tasas de crecimiento diario ( $TC_{35}$ , a) en $\mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ y Tasa Específica de Crecimiento ( $TEC_{PL}$ , b) en $\% \cdot \text{día}^{-1}$ de las post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) calculadas durante las primeras 4 semanas de cultivo (estadio de post-larva) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los gráficos muestran los valores de media, desviación estándar, índice de probabilidad y los suscritos "a y b" que indican diferencias significativas.	50

LISTA DE FIGURAS (Continuación)		
Figura	Descripción	Página
Figura 19	Valores promedio y desviación estándar del: a) peso seco (PS); peso de cenizas (PC) y peso orgánico seco (POS) en $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$ y b) Tasa de crecimiento específico ( $\text{TCE}_{\text{PL}}$ ) en $\% \cdot \text{día}^{-1}$ ; del estadio de post-larva de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). No se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	51
Figura 20	Valores promedio y desviación estándar de los porcentajes de supervivencia de juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) durante la semana 5 a 8 post-asentamiento.	53
Figura 21	Diagrama de cajas y bigotes que muestra el porcentaje de supervivencia de juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) cultivados bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) durante la 5ta y 8va semana de cultivo. Los gráficos muestran los valores de mediana, 2 y 3 cuartiles y los intervalos de confianza. Los suscritos "a y b" indican diferencias significativas.	54
Figura 22	Tasas de crecimiento de: a) juveniles ( $\text{TC}_j$ ), b) a los 58 días post-asentamiento ( $\text{TC}_{58}$ ) y c) específica (TCE) de juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) cultivados bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los suscritos "a, b y c" indican diferencias significativas.	56

LISTA DE FIGURAS (Continuación)		
Figura	Descripción	Página
Figura 23	Valores de media y desviación estándar del crecimiento en longitud de concha ( $\mu\text{m}$ ), de post-larvas y juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los suscritos "a, b y c" indican diferencias significativas. *Indica semana con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	56
Figura 24	Crecimiento en peso de los organismos registrado en los sistemas experimentales a) crecimiento diario en $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$ y b) Tasa de crecimiento específico (TCEJ) del estadio de juvenil. Las barras ilustran los valores promedio $\pm$ la desviación estándar de Peso seco PS, peso de cenizas PC y peso seco orgánico POS registrado en cada sistema durante el estadio juvenil. Las letras "a, b" indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el incremento en peso de los juveniles en los sistemas experimentales.	57

---



---

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla I.</b>	Valores promedio y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos en el bioensayo de crecimiento de post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) en los tres sistemas experimentales ensayados (SE, SFA y SRA) durante un periodo de 60 días.	41
<b>Tabla II.</b>	Valores de mediana (Me) e intervalos de clase (IC) de los porcentajes de asentamiento larval (AL); conchas sin desarrollo (C-SD), conchas peristomales (CP) y conchas midasimétricas (CM) evaluados en el bioensayo de crecimiento de post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) en los tres sistemas experimentales ensayados (SE, SFA y SRA) y durante los primeros 6 días post-asentamiento.	45
<b>Tabla III.</b>	Valores promedio y desviación estándar de la tasa de crecimiento en longitud de concha (LC) en $\mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , de las post-larvas de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) registradas en los 3 diferentes sistemas experimentales (SE, SFA y SRA) durante las primeras cuatro semanas de cultivo. Los suscritos "a, b y c" indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).	49
<b>Tabla IV.</b>	Valores promedio y desviación estándar de las tasas de crecimiento en longitud de concha (LC en $\mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) de los juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) registradas durante la semana 5 a 8 post-asentamiento (estadio juvenil) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los suscritos "a, b y c" indican diferencias significativas.	55
<b>Tabla V.</b>	Relación del costo de activos tangibles; insumos, consumibles y capital de trabajo y el porcentaje que representan para la operación de los sistemas de cultivo de las post-larvas y juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ), cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola).	59

---



---

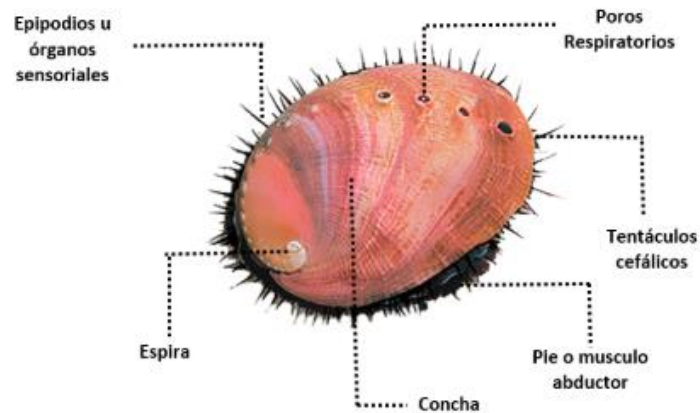
<b>LISTA DE TABLAS (Continuación)</b>		
<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla VI.</b>	Ingresos calculados en el SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) de cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo ( <i>H. rufescens</i> ) durante un periodo mensual y anual. Los valores se calcularon tomando como base los resultados de crecimiento en LC y el porcentaje de supervivencia alcanzados durante el primer mes de evaluaciones experimentales.	59
<b>Tabla VII.</b>	Indicadores de rentabilidad de los sistemas evaluados durante la corrida experimental.	60
<b>Tabla VIII.</b>	Puntos de equilibrio del valor de ventas y del volumen de producción de los sistemas evaluados.	61

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN:

---

### 1.1. Biología e importancia del Abulón rojo *Haliotis rufescens*:

El abulón rojo es un molusco gasterópodo marino perteneciente a la familia Haliotidae, dicha especie se caracteriza por presentar una concha oval color rojo con ligeras rugosidades y una serie de poros respiratorios en la parte externa, mientras que en la parte interna de la concha presenta iridiscencia (Owen, 1971; Geiger y Owen, 2012). Poseen un pie grande que le permite adherirse a las superficies rocosas mediante una fuerte succión (Fig. 1). Este músculo se encuentra rodeado por pequeños tentáculos de color negro conocidos como epipodios los cuales tienen la función de órganos sensoriales (Owen, 1971).



**Figura 1.** Características externas del abulón rojo (*Haliotis rufescens*).

*H. rufescens* es originario de las costas del Pacífico de Norteamérica, se distribuye desde Bahía Sunset, Oregón, EUA hasta Bahía Tortugas, Baja California Sur, por lo que México cubre aproximadamente un tercio de su distribución (Geiger y Owen, 2012). Habita en costas rocosas, desde la zona intermareal hasta los 65 m de profundidad (Freeman, 2001; Geiger y Owen, 2012) con mayor abundancia entre los 10 y 25 m, sitio donde abundan los mantos de macroalgas que forman parte de su dieta principal (Leighton, 2000), y en donde se han reportado organismos de hasta 5 kg de peso y 30 cm de longitud de concha (Leighton, 2000).

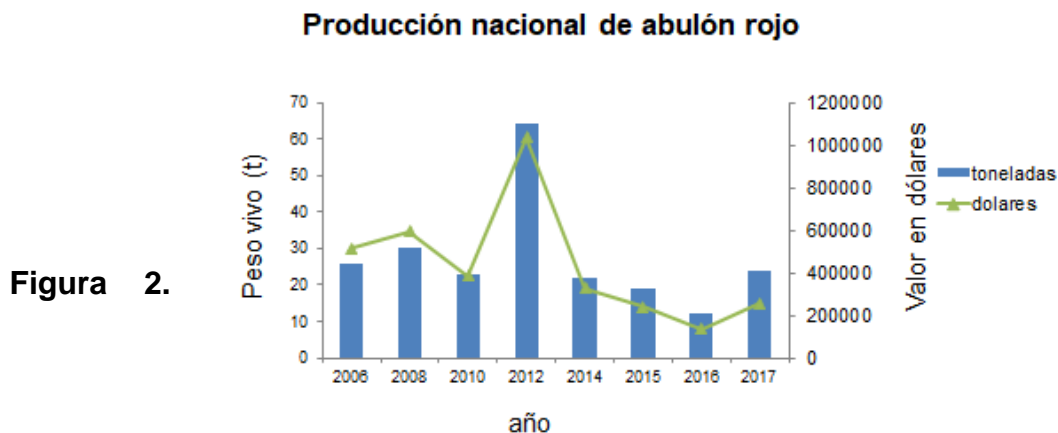
Este organismo llega a venderse vivo y de mayoreo en aproximadamente \$25.00 pesos la pieza, con una talla de 7 a 8 cm (75-85 g), mientras que a menudeo pueden alcanzar desde \$450.00 pesos por Kg (SAGARPA-CONAPESCA, 2013). Las conchas del abulón son otra pieza que también se aprovechan, especialmente aquellas que presentan buena calidad (no presentan epibiontes, ni huellas de erosión), alcanzando valores de hasta \$29,420.00 pesos por tonelada (Álvarez-Tinajero *et al.*, 2001).

Actualmente, el abulón rojo es la principal especie de abulón cultivada de manera comercial en México (Carta Nacional Acuícola-SAGARPA, 2013), debido a que es una de las especies regionales más estudiadas y a la gran capacidad que tiene para adaptarse a diferentes sistemas de cultivo (Flores-Aguilar *et al.*, 2007).

## 1.2. Producción acuícola de abulón rojo en México:

A nivel nacional, se reporta el inicio del cultivo de *H. rufescens* en 1989, esto con la creación de un centro acuícola en el ejido Eréndira, B.C. (Abulones Cultivados S de RL de CV). A partir de ese momento se consideró que el cultivo del abulón representaba una alternativa real para incrementar los volúmenes de producción de este recurso en la región (Carta Nacional Acuícola-SAGARPA, 2013). Este cultivo continuo hasta reportar 3 laboratorios de producción de semilla y 4 granjas acuícolas en el año 2010 (Searcy-Bernal, *et al.*, 2010).

Sin embargo, a pesar de los continuos esfuerzos, desde el año 2012 y hasta la fecha (2020), solo se reportan dos granjas en operación (la granja Abulones Cultivados, S de RL de CV y Productores Marinos Baja, SA de CV), evidenciando que el desarrollo de dicha actividad aún no se ha catapultado en el país. Prueba de esto, son las estadísticas de producción de abulón por acuicultura, las cuales indican que la actividad contribuye solo con el 5% de la producción nacional de abulón, llegando a generar valores mayores a los \$4 millones de pesos (Fig. 2) (Figura 2; SAGARPA, 2014; FAO, 2019).



**Figura 2.**

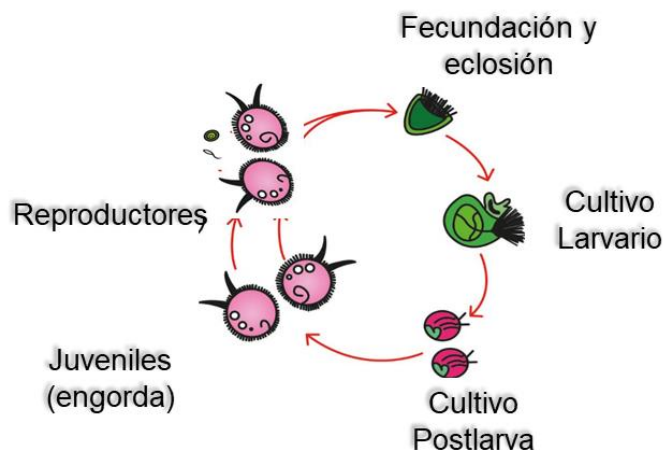
Producción en toneladas métricas de abulón rojo en México por acuicultura: representando por los diagramas de barra la producción y el valor de la producción (Dólares) representados por la línea continua. (FAO, 2019).

### 1.3. Sistemas acuícolas para la producción de abulón rojo en México:

Los sistemas acuícolas desarrollados para el cultivo de abulón en México, están basados en métodos que adaptan las artes de cultivo a las etapas del ciclo de vida de esta especie (Leighton, 2008; Carta Nacional Acuícola, 2013).

Con base en lo anterior, se han descrito cinco estadios de desarrollo (Fig. 3) que determinan el método y la infraestructura utilizada en los sistemas de cultivo siendo: 1). Liberación de gametos, fecundación y eclosión (Heasman y Sawva, 2007); 2). Etapa larval (Maeda-Martínez, 1995; Carta Nacional

Acuícola, 2013); 3). Etapa Post-larval (Gallardo y Salayo, 2003; Stott, *et al.*, 2004), 4. Etapa Juvenil (Leighton, 2000), 4). Etapa de engorda (Fig. 4) (Hahn, 1989; Leighton, 2000) y 5). Etapa de maduración (Al-Rashdi y Iwao, 2008; González-Aragón, 2017).



**Figura 3.** Etapas de estadios de vida del abulón (*Haliotis* spp) tomadas como base para el diseño de los sistemas experimentales.

Estos sistemas, difieren tanto en las densidades de cultivo, como en el control sobre las variables fisicoquímicas, el volumen de agua utilizado, la tecnología implementada y la manipulación que involucra el mantenimiento de los organismos (Meada-Martínez, 1995), Por ejemplo; en la etapa larval, generalmente se implementa el método japonés, el cual consiste en ser sistemas estáticos y poco tecnificados, debido a esto, se tienen que hacer recambios diarios de hasta el 100% del volumen de agua, aumentando por ende la manipulación y como consecuencia la mortalidad.

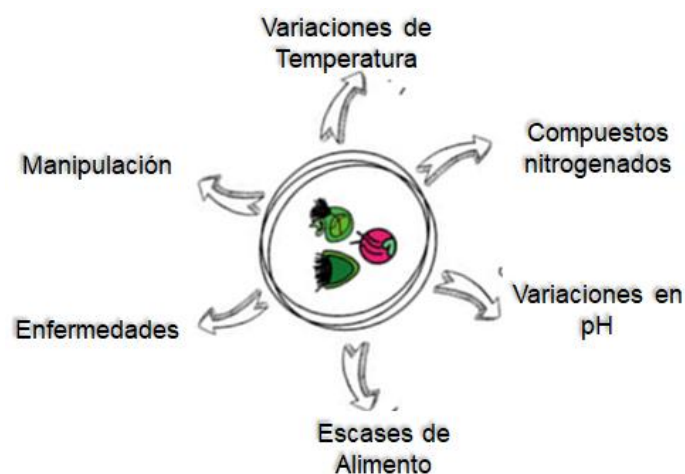
Por otro lado, los sistemas implementados en el resto de las etapas de desarrollo del organismo, se realizan con el método de cultivo americano y, consisten en mantener un flujo constante, permitiendo una renovación constante de agua lo que favorece el aumento en las densidades de cultivo. Generalmente estos sistemas constan de tanques circulares, con mallas en las zonas de salida de agua que ayudan a la retención de los organismos vivos y que permiten la eliminación de restos de organismos muertos, minimizando la manipulación y evitando las pérdidas de organismos por manejo (Meada-Martínez, 1995). La desventaja de estos sistemas, es que debido a su escasa tecnificación, la producción se ve restringida, realizándose únicamente, en las épocas reproductivas que los organismos tienen en la vida silvestre (Leighton, 2008).

#### **1.4. Problemas en estadios tempranos del cultivo de abulón rojo en Baja California, México:**

Una de las principales causas que ha limitado el aumento en la producción de los cultivos de abulón en Baja California, es la mortalidad que presentan estos organismos durante los estadios tempranos, la cual llega hasta el 99% (Leighton, 2000). Sin embargo, en la transición de post-larva a juvenil la supervivencia puede disminuir hasta menos del 0.1% (Leighton, 2000).

Dichas mortalidades se atribuyen a factores que no se pueden controlar con la forma actual de cultivo, siendo estos: la temperatura, los compuestos nitrogenados, el pH, la iluminación y la exposición a distintos

microorganismos patógenos y no patógenos, los cuales pueden llegar a depredar o competir por el alimento con los organismos del cultivo (Fig. 4) (Badillo-Sotelo, 2005).

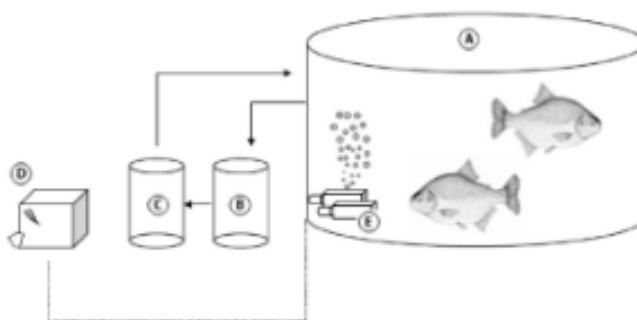


**Figura 4.** Principales problemáticas de larvas y post-larvas de abulón, presentes en cultivos con SFA, que pueden ser erradicados dentro de un SRA.

Por lo tanto, disminuir la mortandad implica mantener el control del mayor número de factores determinantes en la supervivencia del abulón y aminorar la manipulación de los cultivos mediante sistemas que reduzcan el estrés en los animales y que mantengan controladas las variables que afectan a los abulones en sus distintas etapas de desarrollo.

### **1.5. Los sistemas de recirculación acuícola (SRA) como alternativa para la producción de Abulón rojo:**

Los SRA son sistemas en los cuales el agua es reusada después de haber recibido tratamiento (Rosenthal *et al.*, 1986; Timmons *et al.*, 2007). A través de los componentes que retienen y remueven los residuos, reduciendo las necesidades de intercambiar el agua (Fig. 5). Estos sistemas, se han desarrollado, principalmente para el cultivo de peces y para responder a las crecientes regulaciones ambientales en países con acceso limitado a la tierra y al agua, haciéndolos altamente eficientes comparados con los Sistemas de Flujo Abierto (SFA) y ofreciendo ventajas en términos de menor consumo de agua (Verdegem *et al.*, 2006), mejores oportunidades para el manejo de desechos y reciclaje de nutrientes (Piedrahita, 2003), mejor higiene y manejo de enfermedades (Summerfelt *et al.*, 2009; Tal *et al.*, 2009) y mejor control de la contaminación biológica evitando escapes de especies cultivadas (Zohar *et al.*, 2005) o por la contaminación de agentes externos.



**Figura 5.** Componentes básicos de un SRA horizontal. a) Estanque; b) Filtro mecánico; c) Filtro Biológico; d) Bomba de aire y e) Difusores de aire.

Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema (Imagen tomada de Domínguez-Castañedo, 2014).

La expansión de estos sistemas hacia especies de agua marina y salobre se ha enfocado en la operación de cultivos de crías o semillas ya que en estas etapas es donde se tiene un requerimiento extra en la calidad de agua y es aquí donde se requieren innovaciones en las tecnologías de los SRA (Martins *et al.*, 2010). Por lo tanto, una alternativa para el cultivo y mantenimiento de abulón en estadios tempranos, se presenta en la implementación de los SRA, mostrando ser muy eficientes para diversas especies de interés comercial, como peces, crustáceos y distintas especies de moluscos de agua dulce y marina (Losordo *et al.*, 1998; Piedrahita, 2003; Timmons *et al.*, 2007).

En este tipo de sistemas la tasa de crecimiento de los organismos suele ser mayor que en los sistemas tradicionales debido a la mejora en las condiciones de calidad de agua y en especial al mantenimiento de la temperatura, la disponibilidad del alimento y a la reducción de pérdidas energéticas durante la búsqueda de este último (Lazur y Deborah, 1997; Schuster y Stelz, 1998).

Con base en lo anterior, un SRA diseñado específicamente para *Haliotis rufescens*, podría disminuir o neutralizar los principales problemas que se presentan en estadio tempranos, mediante los diversos sistemas unitarios

básicos (Fig. 5), tal como ocurre en otras especies (Chen et al., 1993; Vinatea, 2002; Piedrahita, 2003; Hernández *et al.*, 2009).

### **1.6. Análisis financiero de proyectos acuícolas:**

Los proyectos acuícolas al igual que cualquier tipo de proyecto productivo se sustentan en diversos tipos de evaluaciones que tienen por objetivo conocer la rentabilidad económica de la implementación de procesos o tecnologías como alternativa para el cultivo de organismos, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Solo así es posible asignar los recursos económicos a la mejor alternativa (Marcillo-Morla, 1999).

Existen diversos indicadores que determinan la rentabilidad de los proyectos acuícolas algunos de ellos se determinan a través de estudios de pre factibilidad económica (Aristondo-Morales, 2009). Para realizar este tipo de estudios es necesario calcular conceptos que aporten información para cubrir las necesidades de un proyecto productivo acuícola. Dichos conceptos ayudan a calcular la inversión total de un proyecto en cuanto al funcionamiento inicial (Marcillo-Morla, 1999).

Entre estos conceptos destacan: la inversión inicial (Baca, 2010), los costos de producción (Baca, 2010, el presupuesto proyectado de ventas (González-Elías *et al.*, 2016) y los flujos de efectivo, los cuales muestran el

movimiento de ingresos, egresos y la disponibilidad de fondos en una fecha determinada. Con base en éstos se determinan los métodos de evaluación del valor del dinero a través del tiempo (González-Elías *et al.*, 2016) como lo son: el valor presente neto (VPN) (Baca, 2010), el valor actual neto (Baca, 2010), la tasa interna de retorno (TIR), la tasa de rentabilidad mínima aceptada (TREMA) y el tiempo de recuperación de la inversión (Baca, 2010).

En resumen un estudio de pre-factibilidad investiga las fuentes primarias y secundarias de las áreas relacionadas, se plantea la tecnología que se piensa utilizar, se determinan los costos y la rentabilidad esperada, la cual resulta ser la base en la que se apoyan los inversionistas para tomar su decisión. Aunque las técnicas de análisis empleadas en cada una de las partes de la metodología sirven para hacer algunas determinaciones, el estudio no decide por sí mismo, sino que provee las bases para decidir la realización o no de un proyecto (Marcillo-Morla, 1999).

## CAPÍTULO II. ANTECEDENTES:

---

El cultivo de abulón se encuentra apoyado por varias décadas de investigación en aspectos como biología (Steinarsson y Imsland 2003; Morash, y Alter, 2016; Boch *et al.*, 2018), calidad del agua (Park *et al.*, 2008; Vivanco-Aranda *et al.*, 2011), nutrición (López y Viana, 1998; Capinpin *et al.*, 1999) y diseño de sistemas (Leighton, 2000; Leighton, 2008).

Algunas de las investigaciones realizadas con sistemas destacan la capacidad de estos para mantener la temperatura de los cultivos estable, con ayuda de bombas de calor durante periodos invernales o enfriadores durante el verano, lo cual favorece el crecimiento de los abulones cuando estos son mantenidos en su temperatura óptima (Zong-Qing *et al.*, 1996; Searle *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2008; Vivanco-Aranda *et al.*, 2011), de igual forma se ha probado que esto reduce el tiempo de cultivo necesario para alcanzar la talla comercial (Park *et al.*, 2008; Vivanco-Aranda *et al.*, 2011) y aumenta la supervivencia de los juveniles de abulón (Zong-Qing *et al.*, 1996; Park *et al.*, 2008; Vivanco-Aranda *et al.*, 2011). Sin embargo trabajos como el de Searle *et al.*, 2006 sugieren que la preferencia térmica varía con respecto a la talla, esto resulta conveniente para los SRA debido a la capacidad que estos tienen para regular este factor conforme los organismos crecen.

Algunos autores han examinado la capacidad de los SRA para mantener una buena calidad del agua, lo cual evita que los organismos presenten

deficiencias en su crecimiento a causa de una elevada concentración de compuestos nitrogenados. Zong-Qing *et al.*, (1996) y Park *et al.*, (2008); son autores que han demostrado la importancia que tienen los biofiltros para mantener estables la concentración de nutrientes y que estos no afecten la salud del cultivo de abulón. Dlaza (2006) puntualiza que los biofiltros tienen mayor importancia en cultivos de juveniles donde se adiciona alimento formulado, debido a la cantidad de proteína que contienen las dietas formuladas y a la fracción amoniacal que se puede derivar de estas.

Otro factor con el que se debe de tener cuidado es el pH, ya que este puede ser fácilmente afectado por el CO<sub>2</sub>, el cual suele acumularse muy rápido en los SRA; esta variable puede afectar la mineralización de la concha y el crecimiento de los abulones. Wright (2011) menciona la importancia de una unidad para degasificar el agua y de mantener el pH por encima de 8.2; el autor concluye que el método más efectivo para incrementar el pH dentro de un SRA para abulones, es la adición de hidróxido de calcio, ya que la sustancia no afecta en gran medida las tasas de remineralización del animal y el crecimiento de los mismos. Guzmán y Viana (1998) demostraron que un pH menor a 8.0 afecta la atractabilidad y la palatabilidad de las dietas formuladas para los organismos.

Otros investigadores, han evaluado el efecto que tienen las densidades de los cultivos y los flujos en los sistemas de recirculación, entre ellos Badillo *et al.*, (2007) demostró la viabilidad de cultivo del abulón amarillo

en sistemas de recirculación. Sin embargo, obtuvo tasas bajas de crecimiento y altas de mortalidad en este tipo de sistemas, atribuidos a un efecto del flujo utilizado, ya que los recambios no eran capaces de remover de manera eficiente los sólidos del estanque. Por su parte Wassnig *et al.* (2010), obtuvieron resultados que muestran que en los cultivos de abulón con altas densidades se necesitan flujos mayores a 200 litros por minuto (lpm) para reducir el efecto de la densidad en la mortalidad y las tasas de crecimiento.

Un factor que también tiene importancia con las tasas de crecimiento y que en estadios tempranos puede estar ampliamente influenciada por el flujo son las raciones alimenticias. Meza-Tabares (2012), evaluó la alimentación de post-larvas de abulón rojo "*Haliotis rufescens*" en un sistema de flujo abierto y demostró que el cultivo de post-larvas de abulón con altas densidades se puede llevar a cabo con éxito, sin comprometer la tasa de crecimiento, siempre y cuando se apliquen rutinas de alimentación adecuadas.

Las experiencias de abulón rojo en SRA han sido pocas (Vivanco-Aranda *et al.*, 2011), a pesar de que se ha demostrado que este tipo de sistema son una alternativa viable para aumentar las tasas de crecimiento y supervivencia de juveniles de abulón (Badillo *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2008; Vivanco-Aranda *et al.*, 2011). Actualmente solo existen 3 granjas utilizando este tipo de tecnología en América y ninguna de ellas está en México (Flores-Aguilar *et al.*, 2007).

### **CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN:**

---

El cultivo de *Haliotis rufescens* es una actividad con gran importancia socioeconómica para distintas comunidades de la península de Baja California, por lo tanto, desarrollar sistemas especie-específicos que maximicen el potencial del organismo es fundamental para aumentar la producción de los cultivos.

El valor de los abulones en el mercado ha promovido el desarrollo y la optimización del cultivo intensivo en sistemas que son principalmente de flujo abierto. Sin embargo, existen muchos problemas que reducen el éxito económico y la producción en masa de los sistemas en tierra. El problema más común es el crecimiento bajo y variable de los organismos. Este problema afecta el flujo de dinero y reduce el margen de ganancia.

A pesar de las ventajas que los SRA ofrecen sobre los SFA en el control de temperatura, no existen registros de que estos sean implementados en cultivos comerciales de abulón. Una de las causas pudiera ser que la acuicultura de abulón en México se ha desarrollado de manera lenta, y en sitios con condiciones ambientales favorables. Además de que la adquisición de tecnología para diseñar y construir SRA por parte de los productores presenta altos costos de inversión inicial. Densidades y producción de organismos altas son requeridas para cubrir los costos de inversión.

Éstas son las principales razones por las que los SRA no se han introducido de forma generalizada en las unidades productivas en el estado de Baja California.

La implementación de SRA para el cultivo de post-larvas podría ayudar a reducir las altas tasas de mortalidad que presentan los organismos durante este estadio. La cual, es una de las causas por las que la producción por acuicultura de *H. rufescens* no ha incrementado en México. No se tiene información sobre el cultivo intensivo de post-larvas en SRA para abulón rojo, por tanto este trabajo se enfocó en el efecto de este tipo de sistema en el crecimiento, peso y sobrevivencia.

## CAPÍTULO IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS:

---

### Hipótesis:

- El Sistema de recirculación acuícola presenta mayor rendimiento en términos de supervivencia y crecimiento en post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en comparación con los sistemas de flujo abierto y sistemas estáticos.

### Objetivo general:

- Diseñar y construir un sistema de recirculación acuícola para el mantenimiento de post-larvas de abulón rojo *Haliotis rufescens*, el cual será evaluado y comparado con un sistema de flujo abierto y con un sistema estático.

### Objetivos particulares:

- Evaluar y comparar las diferencias en los parámetros físico-químicos del agua en los diferentes sistemas acuícolas ensayados (sistema de recirculación acuícola, sistema de flujo abierto y sistema estático).
- Evaluar y comparar el rendimiento de los sistemas de cultivo (sistema de recirculación acuícola, sistema de flujo abierto y sistema estático) en términos de parámetros poblacionales de post-larvas y juveniles de abulón rojo, y en las condiciones experimentales ensayadas.

- Evaluar y comparar la viabilidad económica de producción en cada uno de los sistemas de cultivo ensayados (sistema de recirculación acuícola, sistema de flujo abierto y sistema estático).

## **CAPÍTULO V. MATERIALES Y MÉTODOS:**

---

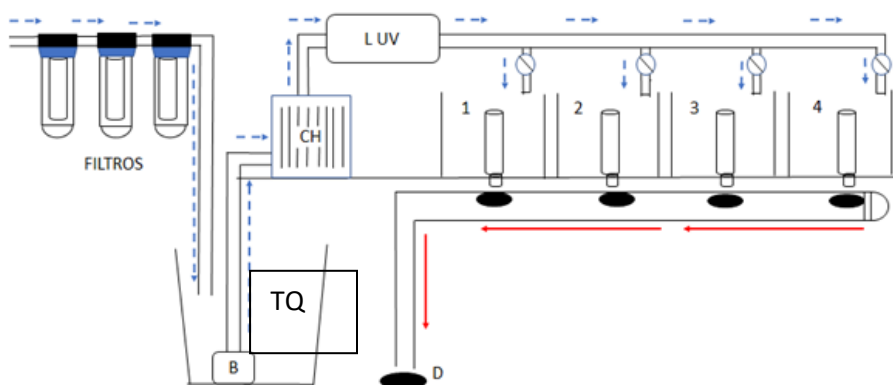
### **5.1 Construcción de sistemas experimentales:**

Para evaluar la supervivencia y crecimiento de las post-larvas y juveniles de abulón rojo se diseñaron y construyeron tres sistemas experimentales en el laboratorio de bioensayos IV del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) los cuales presentaron la siguiente configuración:

#### **5.1.1 Sistema de Flujo Abierto (SFA)**

Este sistema asemeja las condiciones de cultivo utilizadas normalmente por las granjas comerciales de cultivo de abulón y estuvo compuesto por un estanque de compensación de 60 litros de capacidad; una bomba de agua marca Quiet One modelo 4,000; un enfriador de agua de  $\frac{1}{3}$  Hp marca Aqualogic modelo Delta Star (Chiller); un filtro ultravioleta marca Coralife modelo Turbo Twist de 9 watts; un sistema de distribución de agua el cual interconectaba los diferentes componentes del sistema y enviaba agua a las cuatro unidades experimentales (3.5 litros de capacidad). Cada unidad experimental presentaba una superficie de 1,227 cm<sup>2</sup>, una piedra de aireación de burbuja fina, un tubo de nivel y una camisa con malla de 75  $\mu$ m, lo anterior permitió la salida de agua hacia el drenaje sin la pérdida de organismos (Fig. 6).

### SISTEMA DE FLUJO ABIERTO (SFA)

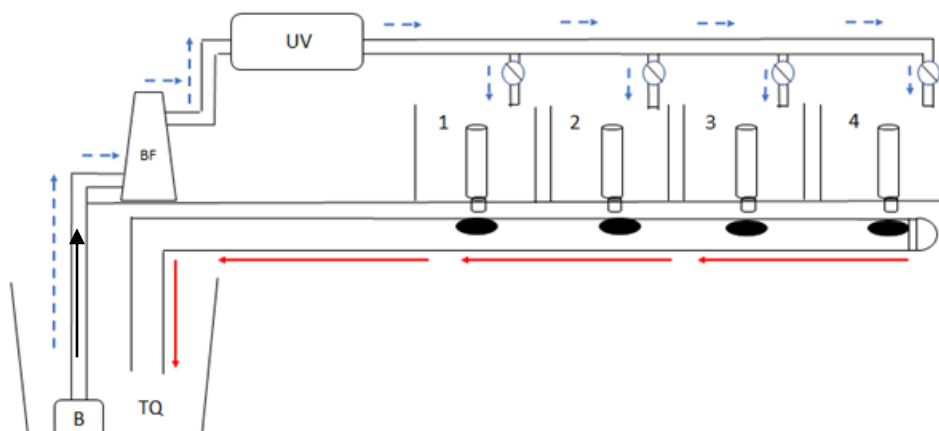


**Figura 6.** Configuración del sistema de flujo abierto (SFA) para el mantenimiento de post-larvas y juveniles de *H. rufescens*, en donde: TQ) Tanque de compensación; B) Bomba de agua; CH) Chiller; LUV) Filtro de luz ultravioleta y con números (1 a 4) las unidades experimentales. Las líneas continuas indican el flujo del agua y las líneas discontinuas el flujo de agua de desecho.

#### 5.1.2 Sistema de recirculación acuícola (SRA)

Este sistema estuvo compuesto por un estanque de compensación de 60 litros de capacidad; una bomba de agua marca Quiet One modelo 4,000; un filtro de Beads de 8 litros de capacidad de filtración; un filtro ultravioleta marca Coralife modelo Turbo Twist de 9 watts; un sistema de distribución de agua el cual interconectaba los diferentes componentes del sistema y enviaba agua a las cuatro unidades experimentales (ya descritas anteriormente), y un tubo de drenaje que desembocaba al estanque de compensación. La temperatura del sistema se controló por medio del aire acondicionado del laboratorio, manteniendo la temperatura del agua en 17 °C (Fig. 7).

### SISTEMA DE RECIRCULACION ACUICOLA (SRA)

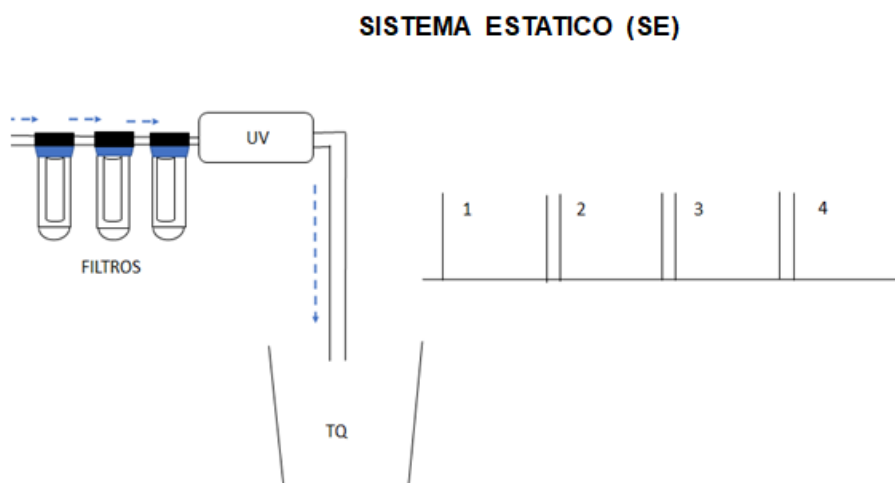


**Figura 7.** Configuración del sistema de recirculación acuicola (SRA) para el mantenimiento de post-larvas y juveniles de *H. rufescens*, en donde: TQ) Tanque de compensación; B) Bomba de agua; BF) Biofiltro de Beads; LUV) Filtro de luz ultravioleta y con números (1 a 4) las unidades experimentales. Las líneas continuas indican el flujo del agua y las líneas discontinuas el flujo de agua de desecho.

Previamente a iniciar el bioensayo de crecimiento de las post-larvas de abulón (aproximadamente 30 días antes), se realizó la maduración del biofiltro de Beads, mediante la adición de Cloruro de Amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) al sistema hasta alcanzar una concentración de  $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4$ . Posteriormente se determinaron los valores de Nitrógeno Amoniacal Total (NAT), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) para observar el comportamiento de los nutrientes en el sistema, el crecimiento bacteriano (Bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*) y la maduración del biofiltro. Se determinó que el biofiltro estaba listo (maduro) una vez que los valores de NAT,  $\text{NO}_2^-$  fueron imperceptibles y que los valores de  $\text{NO}_3^-$  mostraban un incremento proporcional al consumo del NAT.

### 5.1.3 Sistema estático

Este sistema solamente consistió de las cuatro unidades experimentales de 3.5 litros de capacidad (descritas ya anteriormente) y en donde diariamente y de forma manual se hacía un recambio total del volumen de agua de cultivo (Fig. 8).



**Figura 8.** Configuración del sistema estático (SE) para el mantenimiento de post-larvas y juveniles de *H. rufescens*, en donde: con números (1 a 4) se indican las unidades experimentales, UV) Equipo ultravioleta y TQ) Tanque de compensación.

El agua de mar utilizada para estos 3 sistemas se abastecía del sistema principal de filtración de agua de mar del IIO-UABC. Sin embargo, al entrar al laboratorio el agua de mar fue pasada por una serie de cuatro filtros de cartucho (20, 10, 5 y 1  $\mu\text{m}$ ) e irradiada por un filtro ultravioleta marca Coralife modelo Turbo Twist de 9 watts a un flujo de 10 Lpm. Una vez filtrada el agua, esta era almacenada (por un periodo máximo de 24 horas) en 2 recipientes circulares

plásticos de 200 litros, con el fin de que esta se aclimatarla a la temperatura de experimentación (16°C) y evitar así un cambio brusco de temperatura al realizar los recambios en cualquiera de los 3 sistemas experimentales.

## 5.2 Determinación de Calidad de agua

Con el fin de evaluar alguna posible diferencia en la calidad de agua de los 3 diferentes sistemas experimentales se evaluaron diariamente y semanalmente los parámetros físico-químicos con mayor relevancia para el cultivo del abulón (Leigthon, 2008). Diariamente y mientras duro la fase experimental (aproximadamente 10 semanas) se evaluaron los parámetros de: Temperatura (°C); Salinidad (ups); Oxígeno disuelto (OD) y Potencial del ion hidrógeno (pH). El nitrógeno amoniacal total (NAT), nitritos ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_2$ ), nitratos ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3$ ), fueron medidos una vez por semana. En cuanto a la Alcalinidad ( $\text{CaCO}_3^-$ ), Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Carbonatos ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), estos fueron calculados semanalmente, como lo describe Timmons y Ebeling (2007). Para medir la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura se utilizó un oxímetro marca YSI modelo 55. El pH fue medido con un potenciómetro tipo pluma marca YSI modelo pH 10A. La salinidad se midió utilizando un refractómetro manual marca Vital Sine, modelo SR6. La concentración del Amonio, nitritos, nitratos y alcalinidad fueron determinados por medio de Kits Colorimétricos marca API, siguiendo las indicaciones del fabricante para cada caso.

Las concentraciones del  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$  y  $\text{HCO}_3^-$  fueron calculadas a partir de la alcalinidad y el pH utilizando las siguientes fórmulas tomadas de Lefevre *et al.*, (1993):

$$CO_2 = \left[ \left( \frac{Alk}{50,000} + \frac{K_w}{[H^+]} + [H^+] \right) * \left( \frac{1}{\frac{K_1}{[H^+]} + \frac{2K_1 * K_2}{[H^+]^2}} \right) \right] * 44,000 \quad (1)$$

Dónde:

$\text{CO}_2$  = Concentración de dióxido de carbono disuelto ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )

Alk = Alcalinidad ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3^-$ )

$H^+$  = pH log

$K_w = 1.01225 \times 10^{-14}$

$K_1 = 1.07816 \times 10^{-6}$

$K_2 = 8.01292 \times 10^{-10}$

La concentración de  $\text{HCO}_3^-$  fue calculada utilizando la fórmula utilizada por Lefevre *et al.*, (1993):

$$HCO_3^- = \frac{Alk * [H^+]}{[H^2] + 2K_2} \quad (2)$$

Dónde:

$\text{HCO}_3^-$  = Concentración de bicarbonatos ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )

Alk = Alcalinidad ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3^-$ )

$H^+$  = pH log

$K_2 = 8.01292 \times 10^{-10}$

La concentración de  $\text{CO}_3^{-2}$  fue calculada utilizando la fórmula descrita por Lefevre *et al.*, (1993):

$$CO_3^{-2} = \frac{Alk * K_2}{[H^+] + 2K_2} \quad (3)$$

Dónde:

$CO_3^{-2}$  = Concentración de carbonatos ( $mg \cdot l^{-1}$ )

Alk = Alcalinidad ( $mg \cdot l^{-1}$  de  $CaCO_3^{-}$ )

$K_2 = 8.01292 \times 10^{-10}$

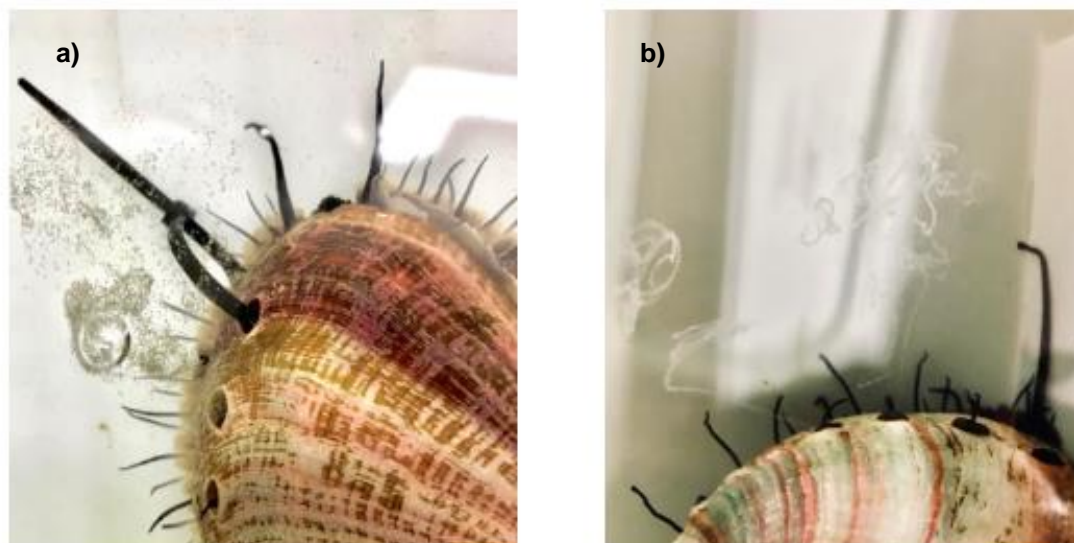
$H^+ = pH \log 22$

### 5.3 Evaluación del crecimiento y supervivencia de post-larvas y juveniles de abulón en los sistemas de cultivo

#### 5.3.1 Obtención de organismos

Los organismos utilizados para las pruebas experimentales se obtuvieron a través de un desove realizado en el laboratorio de Bioensayos IV, del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC (IIO-UABC). Para estimular los organismos al desove, se indujeron 7 Hembras y 4 machos (maduros en fase 2) con el método de TRIS- $H_2O_2$  descrito por Morse *et al.* (1977). Durante la inducción al desove los abulones fueron depositados en recipientes de 8 litros, separados por sexo y mantenidos con agua de mar filtrada e irradiada con luz UV. La solución de TRIS 2M fue adicionada en un volumen de  $6.6 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$  de agua de mar, dejando la solución en una concentración final de TRIS de  $0.0134 \text{ M} \cdot \text{L}^{-1}$ , posteriormente se adicionó  $H_2O_2$  al 6% en un volumen de  $3 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$  de agua de mar dejando la solución en una concentración final de  $0.0134 \text{ M} \cdot \text{L}^{-1}$  de  $H_2O_2$ . Finalmente la liberación de gametos inició alrededor de 1 h 40 min a 2 h

posteriores al inicio de la inducción, siendo los machos los primeros en responder al estímulo (Fig. 9).



**Figura 9.** Respuesta de organismos estimulados con el método de inducción al desove TRIS-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> después de 100 minutos. a) Expulsión de ovocitos y b) Expulsión de espermia.

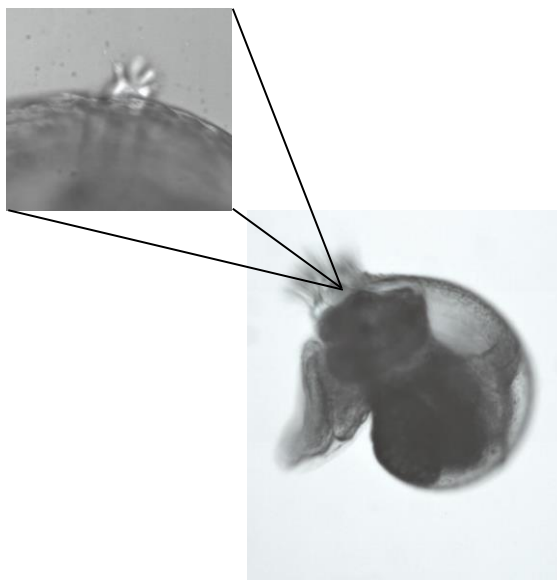
### 5.3.2 Desarrollo larval

Posterior a la obtención de los gametos los ovocitos fueron dosificados en ocho recipientes de 15 litros y fertilizados con 40 mL de una solución espermática concentrada a  $1 \times 10^6$  cél\*mL<sup>-1</sup>, después de 30 min, los ovocitos fueron limpiados del exceso de espermia y devueltos a los recipientes de 15 litros para su eclosión (González-Aragón, 2017). Después de 4 h post fertilización los ovocitos se muestrearon por triplicado para corroborar la presencia de ovocitos fecundados. Para esto se homogenizaron los recipientes

con ovocito fertilizado y se muestrearon 10 mL de cada recipiente, posteriormente se realizaron observaciones en una cámara de conteo Sedgewick-Rafter con 1 mL de la muestra de gametos y con la ayuda de un microscopio óptico Nikon ECLIPSE E200 a 50X de aumento. Finalmente se corroboró que la fecundación fue exitosa a través de la presencia de ovocitos que se encontraban en primera y segunda división mitótica.

Después de 24 h se homogenizaron nuevamente los recipientes que contenían la larva y se colectaron muestras para verificar la presencia de larvas trocóforas encapsuladas en los ovocitos. Finalmente, se eliminaron los ovocitos sin eclosionar mediante un sifonéo del fondo de cada recipiente. Las larvas sobrevivientes fueron recuperadas con una serie de tamices (100, 150 y 200  $\mu\text{m}$ ). Las larvas retenidas en los tamices fueron concentradas en recipientes de 2 litros y cuantificadas para determinar el número de larvas supervivientes, utilizando los protocolos descritos en Lafarga-De la Cruz (2010) y González-Aragón (2017).

Al terminar la etapa larval (aproximadamente 8 días) se limpiaron y concentraron todos los organismos supervivientes para su contabilización. Se determinó la supervivencia de la primera etapa (comprendida desde la eclosión hasta larva competente), comparando los conteos iniciales (Post-eclosión) y finales (larva competente). La larva se determinó como competente una vez que desarrolló la tercera ramificación en los tentáculos cefálicos (Figura 11), aproximadamente a los 8 días post-eclosión.



**Figura 10. Imagen de ramificaciones de los tentáculos cefálicos de la larva veliger competente de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), observada con un microscopio óptico a 200X de aumento.**

La supervivencia larval se calculó con el método utilizado por González-Aragón (2017), con la siguiente fórmula:

$$SL(\%) = \frac{(LI-LF)}{LI} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

SL = Supervivencia larval (%)

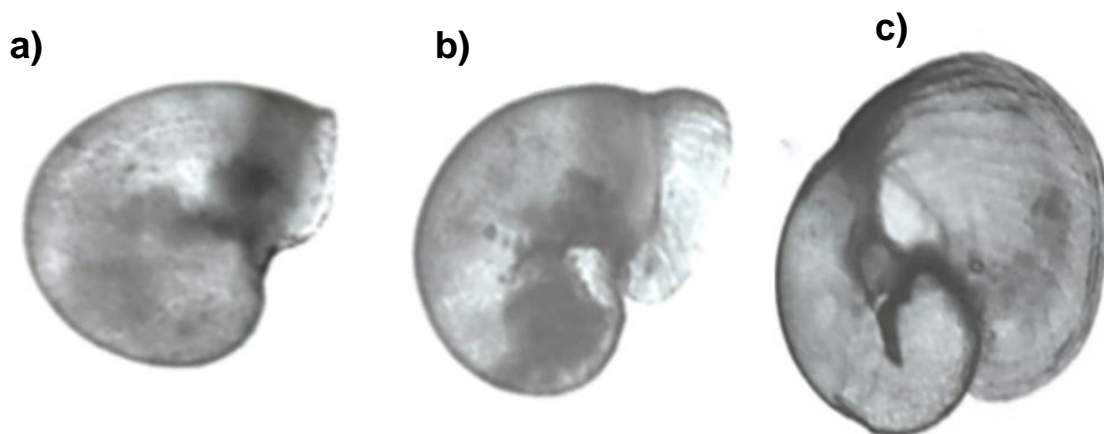
LI = # larvas iniciales

LF = # larvas finales

### 5.3.3 Evaluación de post-larva:

Previo a los resultados reportados en este trabajo se realizaron 3 ensayos preliminares con los que se determinó la densidad de cultivo (4.5 larvas\*cm<sup>-2</sup>) y el flujo de agua óptimo de experimentación.

Una vez cuantificadas las larvas competentes, estas fueron distribuidas aleatoriamente en las diferentes unidades experimentales de los tres sistemas ensayados. Una semana previa al asentamiento de los organismos, cada unidad experimental fue inoculada con la diatomea bentónica (DB) *Navicula incerta*, con la idea de que se formara una ligera biocapa de DB y que al momento de inducir a las larvas al asentamiento se tuviera un mejor porcentaje de asentamiento. Las larvas fueron inducidas al asentamiento mediante el adiconamiento de GABA 1.5 mM, de acuerdo al procedimiento propuesto por Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán (1998). Una vez transcurridas 48 h, se abrió el flujo de agua hacia las unidades del SFA y del SRA, y se iniciaron los recambios diarios de agua de las unidades del SE. Las larvas se monitoreaban diariamente para evaluar su desarrollo de acuerdo a reportes anteriores (Fig. 11)



**Figura 11.** Estadios de desarrollo de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), identificados durante los primeros 7 días post-desove de acuerdo con Sercy-Bernal et al., 2007. a) concha no desarrollada, b) concha peristomal, c) concha midasimétrica.

El flujo de agua fue ajustado a  $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$  durante los primeros tres días y para cada unidad experimental de los SFA y SRA. Posteriormente, el flujo de agua se incrementó de manera gradual, manteniéndolo a  $6 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$  durante la primera y segunda semana y a partir de la cuarta semana y durante el resto de la etapa experimental el flujo de agua fue de  $8 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Los tres sistemas experimentales fueron mantenidos con las mismas condiciones de fotoperiodo (12 h luz y 12h oscuridad), regulado a través de un controlador instalado dentro del laboratorio. La alimentación de las post-larvas fue suministrada “*ad libitum*” (a saciedad) con la DB *N. incerta* (manteniendo un biofilm superior a las  $1,250 \text{ cel}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). Cada tercer día se agregaba un inóculo nuevo de DB, por lo que se detenía el flujo durante un periodo de 30 a 40

minutos para permitir que la DB se pudiera adherir a las superficies de la unidad experimental y evitar así una pérdida por el flujo de agua.

La tasa de asentamiento fue estimada siguiendo la metodología propuesta por Searcy-Bernal *et al*, (2007), en donde, a través de la limpieza de la primera semana, se colectaron, cuantificaron y clasificaron las conchas de acuerdo al desarrollo que presentaban considerando tres categorías para su clasificación (Fig. 12) y la siguiente fórmula:

$$AL(\%) = \frac{((Lc)-(ST+CP+CM))}{Lc} * 100 \quad (5)$$

Dónde:

- AL = Asentamiento larval (%)
- ST = Supervivientes tempranas
- CP = Conchas peristomales
- CM = Conchas midasimétricas
- Lc= Larvas Competentes

La supervivencia de las post-larvas fue calculada semanalmente y se determinó a través del conteo de las conchas vacías obtenidas después de cada limpieza, utilizando la fórmula propuesta por Searcy-Bernal *et al.*, (2007):

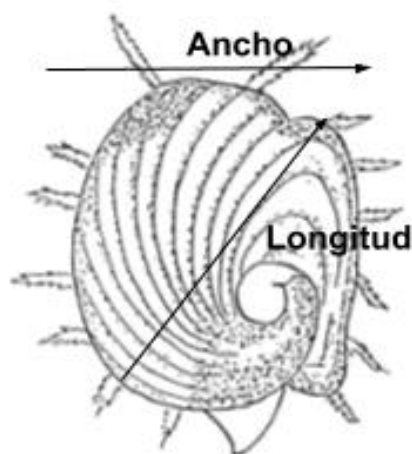
$$S_s(\%) = \frac{((OI)-(OI-CV))}{OI} * 100 \quad (6)$$

Dónde:

- S<sub>s</sub>= Supervivencia semanal (%)
- CV = # de conchas vacías

OI = # de organismos iniciales

El crecimiento de las post-larvas se midió de dos formas, la primera fue a través del incremento en la longitud concha (LC en  $\mu\text{m}$ ; Fig. 12), y la segunda por la ganancia en peso de los organismos (mg). Estas variables se evaluaron cada semana en los tres sistemas experimentales propuestos. Las mediciones se realizaron muestreando 40 post-larvas semanalmente de cada una de las unidades experimentales, los datos se obtuvieron a través del análisis de imágenes obtenidas con una cámara INFINITY 1 conectada a un microscopio Nikon ECLIPSE E200, y procesadas con el software INFINITY CAPTURE.



**Figura 12.** Representación gráfica del registro de toma de longitud durante el cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo, con el software INFINITY CAPTURE™.

Para registrar la ganancia en peso de los organismos, se utilizaron a los mismos 30 organismos previamente muestreados (utilizados para la medición) y estos fueron colocados (ya registrado su longitud) sobre un filtro de fibra de vidrio GF/C de 2.5 cm de diámetro (luz de malla de 10  $\mu\text{m}$ ), previamente tratados y pre-pesados. El peso del filtro con los organismos fue determinado por medio de una balanza analítica Marca SARTORIUS, obteniendo así el peso húmedo (PH).

Para la determinación del peso seco (PS), peso orgánico seco (POS) y peso de cenizas (PC), se siguió el método descrito por Sorokin (1973). Posteriormente al registro de los pesos las post-larvas (muestreadas) fueron lavadas con una solución de formiato de amonio al 3% para eliminar sales y evitar así una sobre estimación de los pesos. El secado de las muestras se realizó en una estufa de convección marca FISHER SCIENTIFIC a una temperatura de 60 °C por un periodo de 24 h, seguidos de su pesaje. Para determinar el peso de cenizas (PC) las muestras se incineraron en una mufla marca TERMO SCIENTIFIC a una temperatura de 490 °C por un periodo de 8 h, seguidos de su pesaje. El peso orgánico seco (POS) se determinó por la diferencia entre el PS y el PC.

La tasa de crecimiento en longitud de concha ( $\text{TC}_{\text{LC}}$ ) se calculó y se expresó como la tasa de crecimiento diaria en longitud ( $\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ ) en cada uno de los estadios y del periodo total de evaluación y fue calculada con la siguiente formula:

$$TC_{LC} = \frac{(LC_T - LC_t)}{(T-t)} \quad (7)$$

Dónde:

$TC_{LC}$  = Tasa de crecimiento en longitud de concha

$LC_T$  = Longitud de concha final

$LC_t$  = Longitud de concha inicial

$(T - t)$  = Tiempo transcurrido en días

La tasa de crecimiento en peso ( $TC_P$ ) se calculó y se expresó como la tasa de crecimiento diaria en peso ( $mg \cdot d^{-1}$ ), en cada uno de los estadios y del periodo total de evaluación y fue calculada con la siguiente formula:

$$TC_P = \frac{(P_T - P_t)}{(T-t)} \quad (8)$$

Dónde:

$TC_P$  = Tasa de crecimiento en peso

$P_T$  = Peso en el tiempo final

$P_t$  = Peso en el tiempo inicial

$(T - t)$  = Tiempo transcurrido en días

Finalmente la tasa específica de crecimiento en longitud ( $TEC_L$ ) o peso ( $TEC_P$ ) ( $\% \cdot día^{-1}$ ) fueron calculadas con la ecuación descrita por Wu, *et al.* (2009):

$$TEC_x = \frac{(\ln X_T - \ln X_t)}{(T-t)} * 100 \quad (9)$$

Dónde:

$TEC_x$  = Tasa específica de crecimiento en longitud (L) o peso (P)

$\ln X_T$  = Logaritmo natural de la longitud o peso en el tiempo final

$\ln X_t$  = Logaritmo natural de la longitud o peso en el tiempo inicial

$(T - t)$  = Tiempo transcurrido en días

#### 5.4 Análisis de rentabilidad

Para poder realizar el análisis de rentabilidad de este trabajo, se obtuvo el costo de los equipos, insumos y materiales de páginas de internet de algunos de los principales proveedores de insumos acuícolas (Pentair Aquatic Ecosystems, [www.pentairaes.com](http://www.pentairaes.com); PROAQUA, <http://www.proaqua.mx/>, Aqualogic, <https://aqualogicinc.com/products/>, Mercado Libre, [www.mercadolibre.com.mx](http://www.mercadolibre.com.mx); Amazon, [www.amazon.com.mx](http://www.amazon.com.mx); Daigger, [www.daigger.com](http://www.daigger.com); entre otros). Los costos operativos de los energéticos utilizados se estimaron de acuerdo a los tabuladores publicados por Comisión Federal de Electricidad (CFE) y para el caso del costo del agua de mar por la UABC (periodo Enero a Octubre 2019), los costos se ajustaron en el modelo de forma anual considerando el costo promedio de la inflación en México, de acuerdo a estadísticas publicadas por la Secretaría de Administración tributaria de México (SAT), siendo este de 3.78% en insumos y consumibles. Posteriormente, se calculó la rentabilidad de cada sistema de producción a través de los indicadores de evaluación económica de proyectos según N. Sapag y R. Sapag (2011).

Los ingresos por sistema se basaron en la supervivencia registrada durante el primer mes y en la talla que los organismos alcanzaron en ese periodo. Para calcular los costos todos los resultados de supervivencia se

dimensionaron a la cantidad de organismos que se producirían si se operaran ocho sistemas con las mismas características.

Se realizó la estimación de seis indicadores de rentabilidad VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno), RSI (Retorno Sobre la Inversión), RB/C (Relación Beneficio-Costo), ID (Índice de Deseabilidad) y PR (Periodo de Recuperación) (Weston y Brigham, 1994; Baca, 2013; Rebollar *et al.*, 2013). Además, se calculó e incluyó una Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TREMA) del 12% (FIRA, 2012, citado en Jaimes *et al.*, 2015).

Cada uno de los indicadores mencionados se determinó con las ecuaciones siguientes:

Valor Actual Neto (VAN) (Muñante, 2004):

$$VAN = \sum_{t=1}^T (Bt - Ct) * (1 + r)^{-t} \quad (11)$$

Dónde:

Bt = Beneficios en cada periodo del proyecto

r = Tasa de actualización entre cien (I/100)

t = Cada periodo del proyecto

T = Número de vida útil del proyecto o periodo de análisis

Ct = Costos en cada periodo del proyecto

$(1 + r)^{-t}$  = Factor de actualización o descuento

Relación Beneficio-Costo (B/C):

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^T Bt * (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T Ct * (1+r)^{-t}} \quad (12)$$

A través de este indicador el proyecto se catalogarán como rentables si su  $B/C \Rightarrow 1$ .

Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K), se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{N}{K} = \frac{\sum_{t=1}^T N_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T K_t (1+r)^{-t}} \quad (13)$$

Dónde:

$N_t$  = Corriente del flujo de fondos en cada periodo, después de que este se ha vuelto

$K_t$  = Corriente del flujo de fondos en los periodos iniciales del proyecto cuando éste es negativo

$(1+r)^{-t}$  = Factor de actualización o descuento

El criterio formal de selección a través de este indicador es aceptar todos los proyectos cuyas N/K sea igual o mayor que uno, a la tasa de actualización seleccionada.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se calculó con la ecuación propuesta por Muñante (2004):

$$TIR = I_1 + (I_2 - I_1) * \left[ \frac{(FFA_1)}{(FFA_1 - FFA_2)} \right] \quad (14)$$

Dónde:

$I_1$  = Tasa menor de actualización

$I_2$  = Tasa mayor de actualización

$FFA_1$  = Flujo de fondos actualizados a la tasa menor

$FFA_2$  = Flujo de fondos actualizados a la tasa mayor

Se calculó el punto de equilibrio con la finalidad de conocer el punto en el cual los ingresos por ventas igualan a los costos de producción y con el cual es posible obtener el nivel de producción que se necesita para la operación del Agronegoció. Las fórmulas para su cálculo son las propuestas por Baca (2010):

$$PEVV = \frac{CF}{1 - \left(\frac{CV}{IT}\right)}$$

$$PEVP = \frac{PEVV}{IT * UV} \quad (16)$$

En dónde:

PEVV = Punto de Equilibrio en el Valor de Ventas

PEVP = Punto de Equilibrio en el Volumen de Producción

CF = Costos Fijos

CV = Costos Variables

IT = Ingreso Total

UV = Unidades Vendidas

Con la finalidad de tener otro indicador que pudiera ayudar a mostrar la rentabilidad de estos sistemas acuícolas se obtuvo la tasa de retorno mínima aceptada TREMA, la cual incluye al riesgo de este tipo de proyectos como un parámetro a tener en cuenta. La TREMA se calculó con la siguiente formula:

(17)

$$TREMA = i + f + i f.$$

En dónde:

i = Tasa de inflación anual promedio esperada para la vida del proyecto

f = Premio al riesgo

## 5.5 Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los parámetros fisicoquímicos de los sistemas de cultivo evaluados, se realizó un análisis de los datos a través de pruebas “t” con comparación de pendientes. Para esto, primero se obtuvo una pendiente de cada gráfico de las variables en cada sistema y posteriormente se analizaron con ensayos “F”, por medio de los cuales se comparó la homogeneidad de la varianza de las pendientes. Cuando los datos no mostraron homogeneidad entre sus varianzas se procedió a realizar una prueba de comparación de los estadísticos de  $t_{cal}$  y de  $t'_{cal}$ , para determinar si las pendientes presentaban diferencias significativas  $P < 0.05$ . Cuando los datos mostraron homogeneidad entre sus varianzas, se realizó una prueba de comparación de los estadísticos de  $t_{cal}$  y de  $t_{tab}$ , para determinar si las pendientes presentaban diferencias  $P < 0.05$  (Stefanini y Nazario, 2019).

Debido a que los valores del asentamiento larval presentaron una alta variabilidad entre las unidades experimentales de los sistemas y que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad (homogeneidad de varianza y homocedasticidad), se realizó una prueba de ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95%.

Los datos de supervivencia de los estadios (post-larval y juvenil) obtenidos durante cada semana del periodo experimental se analizaron en

porcentaje a través de pruebas ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis, con un nivel de confianza del 95%, para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuando se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos de las variables antes mencionadas (asentamiento larval y supervivencia de los diferentes estadios), se llevó a cabo un análisis de U Mann-Whitney para determinar si efectivamente los grupos de datos presentaban diferencias significativas. Debido a que ésta última prueba se basa en la comparación de dos grupos de datos independientes que no cumplen con los supuestos de normalidad, se realizaron las comparaciones de los resultados de cada sistema en pares, comparando primero los resultados de cada variable de los sistemas SE vs SFA, y posteriormente se realizó la comparación de variables de los sistemas SE vs SRA y por último la comparación de variables de los sistemas SFA vs SRA.

Los valores obtenidos de las  $TC_{LC}$  y  $TC_P$  calculadas en los diferentes estadios, se analizaron con pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Liliford y de homogeneidad de varianza de Levene. Al cumplir con los supuestos de normalidad se realizaron pruebas de ANOVA de una vía con un intervalo de confianza del 95%, seguido de una prueba *post hoc* de Tukey, para determinar los grupos en donde existían las diferencias significativas.

Los datos obtenidos del análisis de rentabilidad no fueron analizados con ningún tipo de análisis estadístico, por lo que solo se compararon para determinar la factibilidad de los sistemas evaluados.

## **CAPÍTULO VI. RESULTADOS:**

---

### **6.1 Evaluación de la calidad de agua de los sistemas experimentales**

Los parámetros fisicoquímicos del agua de los cultivos en los 3 diferentes sistemas ensayados se mantuvieron estables y solo se observaron pequeñas variaciones en los sistemas. Para el caso de la temperatura, el SFA fue el que presentó el valor promedio mayor y variación ( $17.0 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ ), en comparación con los otros dos sistemas ensayados. Mientras que, el SE fue el que registro el valor promedio menor de temperatura, siendo esta de  $16.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas (Tabla I).

Para el caso de la salinidad se observó un valor promedio mayor para el SRA ( $34.3 \pm 1.5$  UPS) con respecto al SFA y SE ( $33.3 \pm 1.3$  UPS y  $33.1 \pm 0.8$  UPS, respectivamente) pero sin diferencias significativas entre los sistemas (Tabla I).

El valor promedio mayor de concentración de oxígeno disuelto se observó en el SE, siendo este de  $7.8 \pm 0.1$   $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , mientras que en los SFA y SRA se observaron valores de  $7.3 \pm 0.2$   $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $7.3 \pm 0.5$   $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre ninguno de los sistemas de cultivo ensayados (Tabla I).

**Tabla I.** Valores promedio y desviación estándar de variables fisicoquímicas del agua de cultivo, evaluados en el bioensayo de crecimiento de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en los tres sistemas experimentales ensayados (SE, SFA y SRA) durante un periodo de 60 días.

Variable	Sistemas			P valor
	SE	SFA	SRA	PP
Temperatura (T°C)	16.3 ± 0.2	17.0 ± 0.6	16.7 ± 0.2	P>0.05
pH	8.1 ± 0.1	8.2 ± 0.2	8.3 ± 0.1	P>0.05
Salinidad (UPS)	33.11 ± 0.8	33.3 ± 1.3	34.3 ± 1.8	P>0.05
Oxígeno disuelto (mg*L-1)	7.8 ± 0.1	7.3 ± 0.2	7.3 ± 0.5	P>0.05
Concentración de oxígeno (%)	97.8 ± 1.3	90.8 ± 3	92.5 ± 3.8	P>0.05
Nitrógeno amoniacal total (mg*L <sup>-1</sup> )	0.41 ± 0.12	0.38 ± 0.27	0.34 ± 0.13	P>0.05
Nitritos (mg*L <sup>-1</sup> de N-NO <sub>2</sub> ),	0.19 ± 0.07	0.14 ± 0.08	0.13 ± 0.09	P>0.05
Nitratos (mg*L <sup>-1</sup> de N-NO <sub>3</sub> )	11 ± 5	10 ± 5	19 ± 9	P>0.05
Alcalinidad KH <sup>+</sup>	140.69 ± 1.98	141.64 ± 1.51	141.13 ± 1.55	P>0.05
Dióxido de carbono disuelto (mg*L <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub> )	0.87 ± 0.15	0.61 ± 0.39	0.63 ± 0.25	P>0.05
Bicarbonatos (mg*L <sup>-1</sup> de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	667.73 ± 118.3	466.29 ± 302.0	482.12 ± 193.5	P>0.05
Carbonatos (mg*L <sup>-1</sup> de CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	12.33 ± 1.79	19.01 ± 6.62	16.53 ± 4.31	P>0.05

Los compuesto nitrogenados mostraron valores similares en la mayoría de los casos, las concentraciones promedio de NAT, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fueron de 0.41 ± 0.12 mg\* L<sup>-1</sup>, 0.19 ± 0.07 mg\*L<sup>-1</sup> y 11 ± 5 mg\*L<sup>-1</sup> para el SE. Mientras el SFA presentó concentraciones de 0.38 ± 0.27 mg\*L<sup>-1</sup>, 0.14 ± 0.08 mg\*L<sup>-1</sup> y 10 ± 5 mg\*L<sup>-1</sup> de NAT, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectivamente. Por último el SRA presentó concentraciones promedio de 0.34 ± 0.13 mg\*L<sup>-1</sup>, 0.13 ± 0.09 mg\*L<sup>-1</sup>y 19 ± 9 mg\*L<sup>-1</sup> de NAT, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectivamente (Tabla I).

La alcalinidad, el CO<sub>2</sub>, los bicarbonatos y los carbonatos también presentaron valores similares en los diferentes sistemas evaluados. En el caso

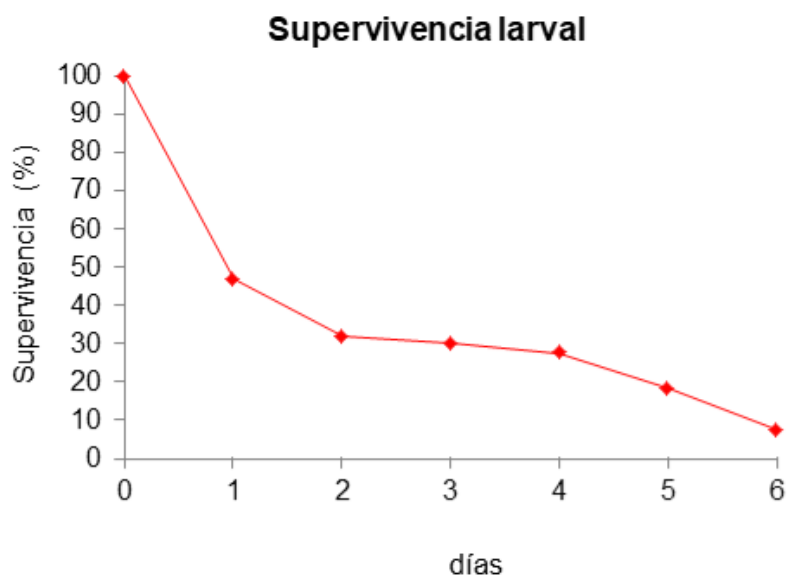
de la alcalinidad  $\text{KH}^+$  ( $\text{CaCO}_3^-$ ) se observaron concentraciones promedios de  $140.69 \pm 1.98$ ,  $141.64 \pm 1.51$  y  $141.13 \pm 1.55 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$  en el SE, SFA y SRA, respectivamente. El  $\text{CO}_2$  disuelto tuvo registros promedios de  $0.87 \pm 0.15$ ,  $0.61 \pm 0.39$  y  $0.63 \pm 0.25 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$  en el SE, SFA y SRA. Los bicarbonatos se detectaron en mayor concentración en el SE  $667.73 \pm 118.3 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$  y se observaron en menor concentración en el SFA  $466.29 \pm 302.0 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$ . Por otro lado los carbonatos se registraron en menor concentración en el SE con concentraciones promedio de  $12.33 \pm 1.79 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$  y en mayor concentración en el SFA  $19.01 \pm 6.62 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$ . El SRA mantuvo valores promedio de  $482.12 \pm 193.5$  y  $16.53 \pm 4.31 \text{ mg}^*\text{L}^{-1}$  de bicarbonatos y carbonatos (Tabla I). A pesar de que estas variables fisicoquímicas fueron un poco más fluctuantes entre los sistemas, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ).

## 6.2 ETAPA LARVAL

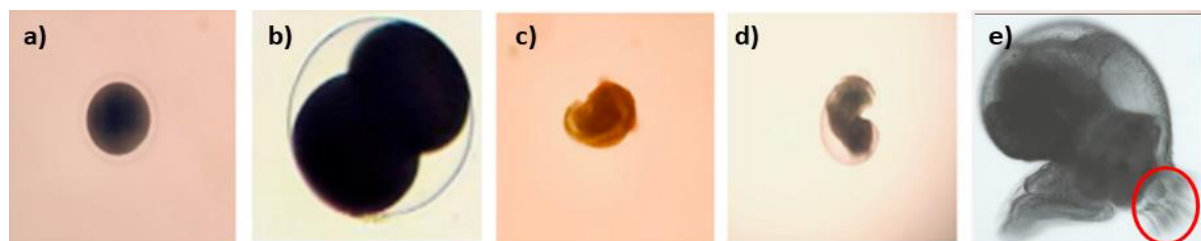
### 6.2.1 Desarrollo y supervivencia larval:

Se indujeron un total de 7 hembras y 4 machos, de los cuales respondieron positivamente 6 hembras y 3 machos. Durante la evaluación experimental se obtuvieron valores altos en el porcentaje de fecundación (92%) y de eclosión (89%). Al inicio del cultivo larval se cuantificaron 2,853,124 larvas trocóforas. Al finalizar el periodo de cultivo larvario (6 días) solo se observaron

217,500 larvas (equivalentes al 7.62% de larvas iniciales; Fig. 13) las cuales, ya presentaban las características que permitían catalogarlas como larvas competentes (tercera ramificación de los tentáculos cefálicos) (Fig. 14).



**Figura 13.** Porcentaje de supervivencia (%) de larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) obtenidas durante el desove del 12 de Febrero de 2019. Las cuales fueron utilizadas para realizar el bioensayo de crecimiento en los diferentes sistemas de experimentación (SE, SFA y SRA).



**Figura 14.** Estadios de desarrollo embrionario y de larvas de abulón rojo *Haliotis rufescens*, registrados durante el crecimiento de las larvas: a) Fertilización; b) Primera división (2h); c) Larva trocófora (24 h); d) Larva veliger temprana (48 h) y e) Larva competente (6 días) con tercera ramificación en el tentáculo cefálico.

### 6.3 CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE POST-LARVAS DE ABULÓN ROJO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO

#### 6.3.1. Tasa de asentamiento

El porcentaje de asentamiento observado en los 3 sistemas experimentales se registró entre el 96.0 al 98.7 % (Tabla II). El valor más alto de conchas sin desarrollo (C-SD) se observó en el SRA, el cual registro un intervalo del 2.5 a 3.96 %. Mientras que el SFA fue el que registro el valor de mediana más bajo de C-SD, siendo este de 1.31 a 2.14 %. Cabe mencionar que no se observaron diferencias significativas en ninguno de los estadios de concha evaluados y para ninguno de los sistemas experimentales ensayados (Tabla II).

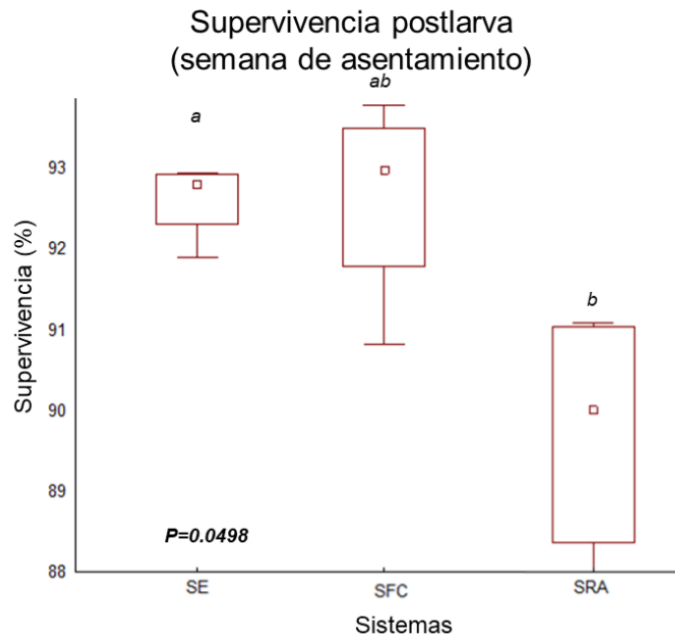
El SRA fue en el que se obtuvo un mayor porcentaje de conchas vacías peristomales (CP) y midasimétricas (CM), con intervalos de 2.8 a 5.36 % y de

1.5 a 2.39 %, respectivamente. En esta variable tampoco se pudieron apreciar diferencias significativas en ninguno de los sistemas ensayados (Tabla II).

**Tabla II.** Valores de mediana (Me) e intervalos de clase (IC) de los porcentajes de asentamiento larval (AL); conchas sin desarrollo (C-SD), conchas persitomales (CP) y conchas midasimétricas (CM) evaluados en el bioensayo de crecimiento de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en los tres sistemas experimentales ensayados (SE, SFA y SRA) y durante los primeros 6 días post-asentamiento.

	SE		SFA		SRA		P
	Me	IC	Me	IC	Me	IC	
AL	97.3	96.8 – 97.7	98.3	97.9 – 98.7	96.7	96.0 – 97.4	0.925
C-SD	2.72	2.25 – 3.17	1.70	1.31 – 2.14	3.27	2.5 – 3.96	0.834
CP	2.52	2.05 – 2.97	3.69	2.87 – 4.46	4.11	2.8 – 5.36	0.862
CM	1.55	1.23 – 1.99	1.49	1.06 – 1.89	1.95	1.5 – 2.39	0.975

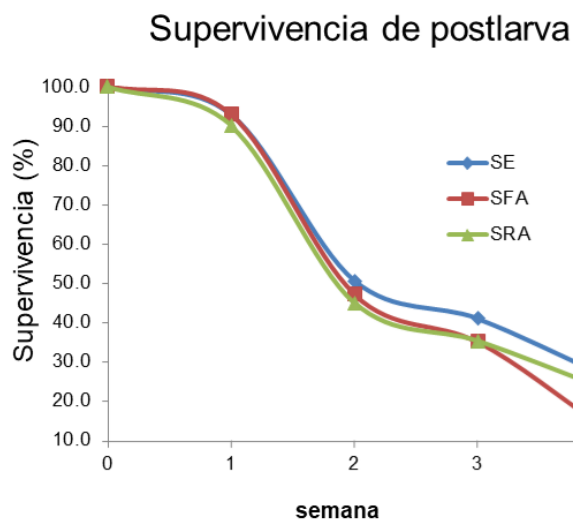
La supervivencia post-larval (SPL) al finalizar la primera semana de evaluación (semana de asentamiento y acondicionamiento al flujo de agua), fue de 93.3 % con intervalo de 92.8 al 93.6 % para el SE; de 93.2 % con intervalo de 91.3 – 94.3 % para el SFA y de 90.7 % con intervalo 89.2 – 91.4 % para el SRA. El SFA fue el que mostró una ligera mayor supervivencia, aunque no registro diferencias significativas ( $P>0.05$ ) con respecto a los otros dos sistemas experimentales. Sin embargo, los SE y el SRA si presentaron diferencias significativas entre ellos ( $P>0.0498$ ) en la supervivencia de post-larvas (Fig. 15).



**Figura 15.** Valores de supervivencia en porcentaje (%) de las post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) registradas en los sistemas experimentales (SE, SFA y SRA), durante la semana de asentamiento y acondicionamiento al flujo de agua. Los gráficos muestran los valores de mediana, cuartiles 2 y 3 y los intervalos de clase obtenidos en cada sistema experimental. Con letras “a, b y ab” se denotan las diferencias significativas ( $P<0.05$ ).

### 6.3.2. Supervivencia del estadio de post-larvas

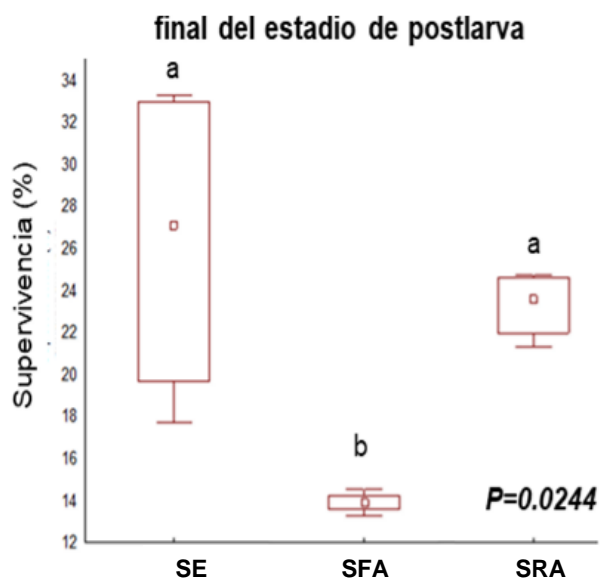
La supervivencia de los organismos durante el estadio de post-larvas mostró tendencias similares en todos los tratamientos, observándose mortalidades mayores al 70% en todos los sistemas evaluados durante las primeras cuatro semanas de cultivo (Figura 16).



**Figura 16.** Valores promedio del porcentaje de supervivencia (%) de las post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), registrados semanalmente en los Sistemas Estático (SE), Sistema de Flujo Abierto (SFA) y Sistema de Recirculación (SRA) durante un periodo de 4 semanas.

Al finalizar la cuarta semana de cultivo se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en el porcentaje de supervivencia post-larval (Figura 17). El mayor porcentaje de supervivencia se registró en el SE con un valor de mediana de 27.1 % y un intervalo de 16.7 a 36.7 % de supervivencia. Mientras que en el SFA se registró el menor porcentaje de supervivencia con un 13.9 % e intervalo de 13.4 a 14.3 % de supervivencia. El SRA registró un porcentaje de supervivencia de 23.6% con un intervalo de 21.5 a 25.3 % (Figura 17). Cabe mencionar que esta semana (4ta semana) fue el segundo periodo con mayor mortalidad de post-larvas, siendo la semana dos en la que se registró casi un

50% de mortalidad de las larvas competentes sembrados inicialmente en cada unidad experimental (Anexo II Tabla I).



**Figura 17.** Porcentaje de supervivencia de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), registrada al final de la 4ta semana de cultivo en los sistemas experimentales (SE, SFA y SRA). Los gráficos muestran los valores de mediana, cuartiles 2 y 3 y los intervalos de clase obtenidos en cada sistema experimental. Con letras “a y b se indican los sistemas que presentaron diferencias significativas ( $P<0.05$ ).

### 6.3.3 Crecimiento de post-larvas

Durante esta primera etapa (semana 1 a 4) se calcularon las tasas de crecimiento en términos de longitud de concha LC, tasa de crecimiento semanal (TCs); Tasa de crecimiento de estadio de post-larva (TC<sub>35</sub>) y la tasa específica de crecimiento del estadio de post-larva (TEC<sub>PL</sub>), para cada sistema

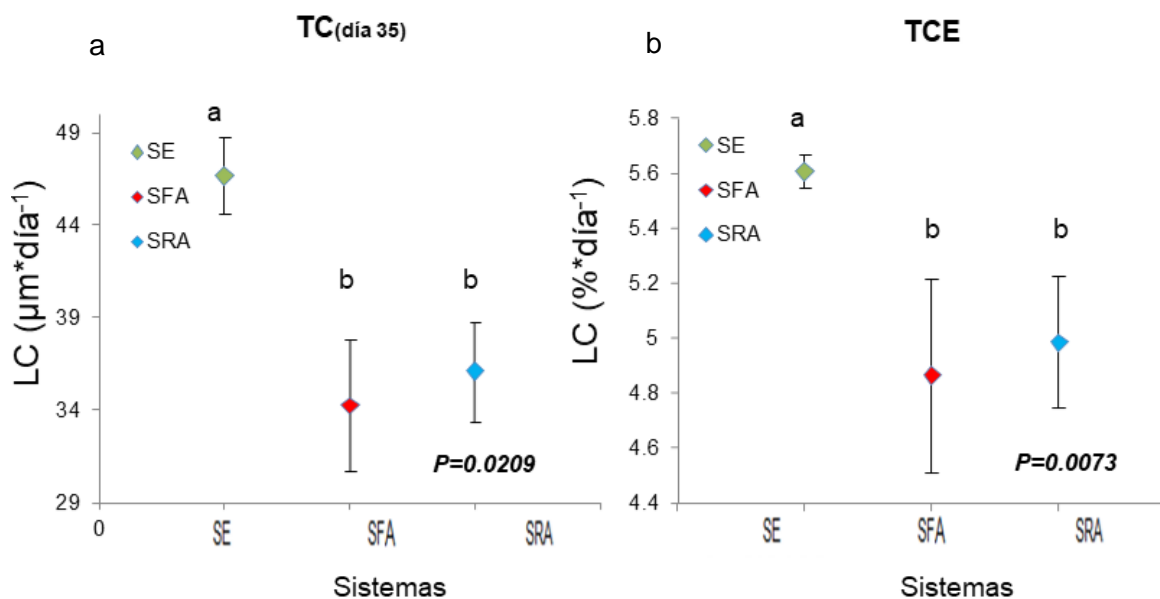
experimental ensayado. La mayor TCs observada en esta etapa se registró durante la cuarta semana y fue de  $118.9 \pm 4.5 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  en el SE, seguido por el SRA que registro  $64.9 \pm 3.1 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  y por último el SFA con  $54.8 \pm 4.5 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ . Esta semana fue la única en donde se registraron diferencias significativas entre los sistemas de cultivo ensayados (Tabla III). La semana con la menor TCs fue la segunda, registrando valores de  $6.6 \pm 2.3 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ,  $7.9 \pm 3.2 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  y  $9.0 \pm 2.1 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , para el SE, SFA y SRA, respectivamente. Y para este caso, al igual que la semana 1 y 3, no se observaron diferencias significativas entre los sistemas ensayados (Tabla III).

**Tabla III.** Valores promedio y desviación estándar de la tasa de crecimiento en longitud de concha (LC) en  $\mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , de las post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) registradas en los 3 diferentes sistemas experimentales (SE, SFA y SRA) durante las primeras cuatro semanas de cultivo. Las suscritos "a, b y c" indican diferencias significativas ( $P=0.8723$ ).

Semana	SE		SFA		SRA	
1	24.4	$\pm 0.7$	23.7	$\pm 2.8$	23.8	$\pm 0.6$
2	6.6	$\pm 2.3$	7.9	$\pm 3.2$	9.0	$\pm 2.1$
3	21.9	$\pm 1.9$	24.3	$\pm 2.7$	26.3	$\pm 5.1$
4	118.9	$\pm 4.5^a$	54.8	$\pm 4.0^b$	64.9	$\pm 3.1^c$

Los mayores valores de la  $TC_{35}$  (periodo de post-larva), se observaron en el SE con  $46.6 \pm 1.0 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , mientras que para el SFA se registró  $34.3 \pm 1.8 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  y en el SRA  $36.1 \pm 1.4 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  (Figura 18a). La mayor  $TEC_{PL}$  (durante este periodo) se obtuvo en el SE con  $5.88 \pm 0.05 \% \cdot \text{día}^{-1}$ , mientras que el SRA y el SFA registraron valores de  $4.69 \pm 0.19$  y  $4.99 \pm 0.21 \% \cdot \text{día}^{-1}$ ,

respectivamente (Fig. 18b). En ambos casos se observaron diferencias significativas entre las tasas de crecimiento calculadas para el SE con respecto al SRA y el SFA (Fig. 18 a y b).



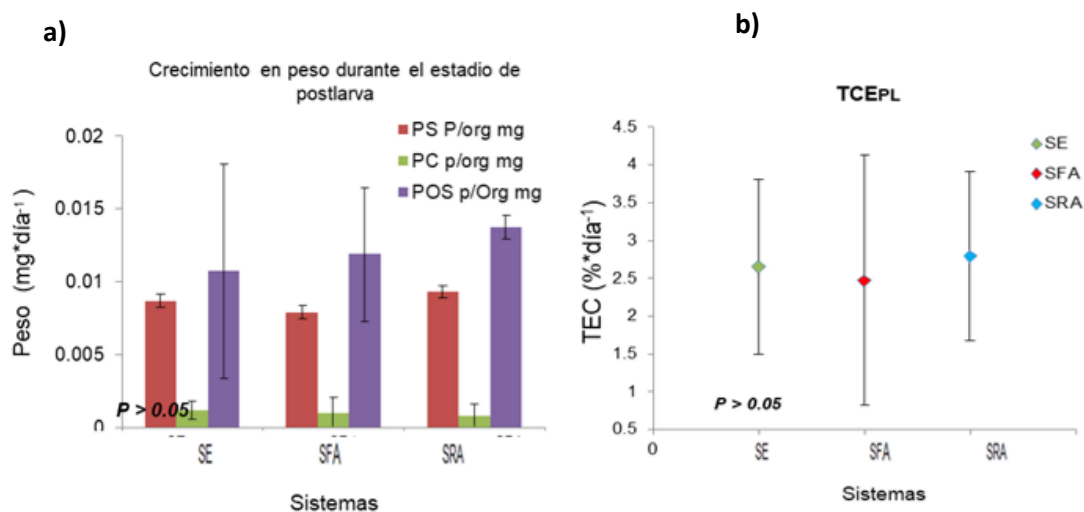
**Figura 18.** Tasas de crecimiento diario (TC<sub>35</sub>, a) en  $\mu\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$  y Tasa Específica de Crecimiento (TEC<sub>PL</sub>, b) en  $\%\cdot\text{día}^{-1}$  de las post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) calculadas durante las primeras 4 semanas de cultivo (estadio post-larva) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los gráficos muestran los valores de media, desviación estándar, índice de probabilidad y los suscritos “a y b” que indican diferencias significativas.

#### 6.3.4 Peso de post-larvas

Los pesos húmedos (PH) obtenidos durante el periodo de evaluación de post-larva fueron mayores en el SE el cual registro valores de  $7.7 \pm 2.1 \text{ mg}\cdot\text{org}^{-1}$ , por otro lado las post-larvas cultivadas en los SFA y el SRA presentaron

pesos húmedos de  $5.6 \pm 1.2 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$  y  $5.8 \pm 0.6 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , respectivamente. No se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

El mayor peso seco total (PST) se registró en las post-larvas cultivadas en el SRA con  $0.48 \pm 0.04 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , mientras que en el SFA se registró un PST de post-larvas de  $0.46 \pm 0.03 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , seguido de las post-larvas del SE que registraron un peso de  $0.44 \pm 0.03 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , no se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Las ganancias en peso registradas durante este estadio son:  $0.27 \pm 0.6$ ;  $0.25 \pm 0.06$  y  $0.23 \pm 0.05 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , para el SRA, el SFA y el SE, respectivamente (Fig. 19 a).



**Figura 19.** Valores promedio y desviación estándar del: a) peso seco (PS); peso de cenizas (PC) y peso orgánico seco (POS) en  $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$  y b) Tasa de crecimiento específico (TCEPL) en  $\% \cdot \text{día}^{-1}$ ; del estadio de post-larva de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). No se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

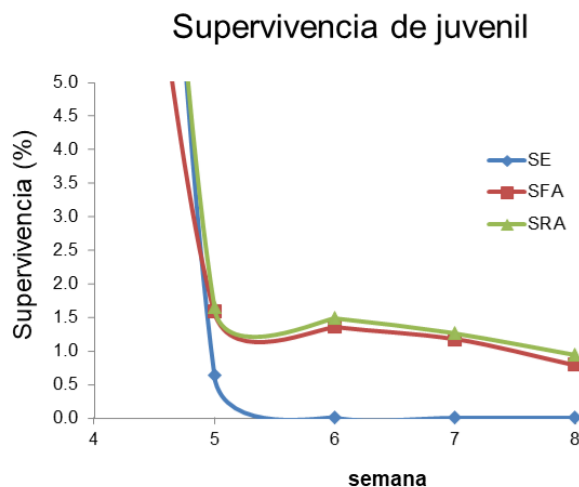
Los organismos con mayor ganancia de peso seco orgánico (PSO) fueron los cultivados en el SRA con  $0.48 \pm 0.05 \text{ mg*org}^{-1}$ , de igual forma este sistema fue el que registró una menor cantidad de peso de cenizas (PC) con  $0.014 \pm 0.005 \text{ mg*org}^{-1}$  (Fig. 19 a). Los organismos del SFA tuvieron un PSO de  $0.43 \pm 0.04 \text{ mg*org}^{-1}$ , y un PC de  $0.038 \pm 0.021 \text{ mg*org}^{-1}$ , por último el SE mostró un PSO  $0.32 \pm 0.17 \text{ mg*org}^{-1}$ , y un PC de  $0.118 \pm 0.177 \text{ mg*org}^{-1}$ , no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en estas variables, durante el estadio post-larval. Por último durante este estadio la TEC para el SRA fue  $2.9 \pm 0.6 \text{ \%*día}^{-1}$ ,  $2.8 \pm 0.7 \text{ \%*día}^{-1}$  para el SFA, y  $2.6 \pm 0.7 \text{ \%*día}^{-1}$  para el SE, sin diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ) (Fig. 19 b).

## **6.4. SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE JUVENILES DE ABULON ROJO EN LOS SISTEMAS EXPERIMENTALES**

### **6.4.1 Supervivencia de juveniles**

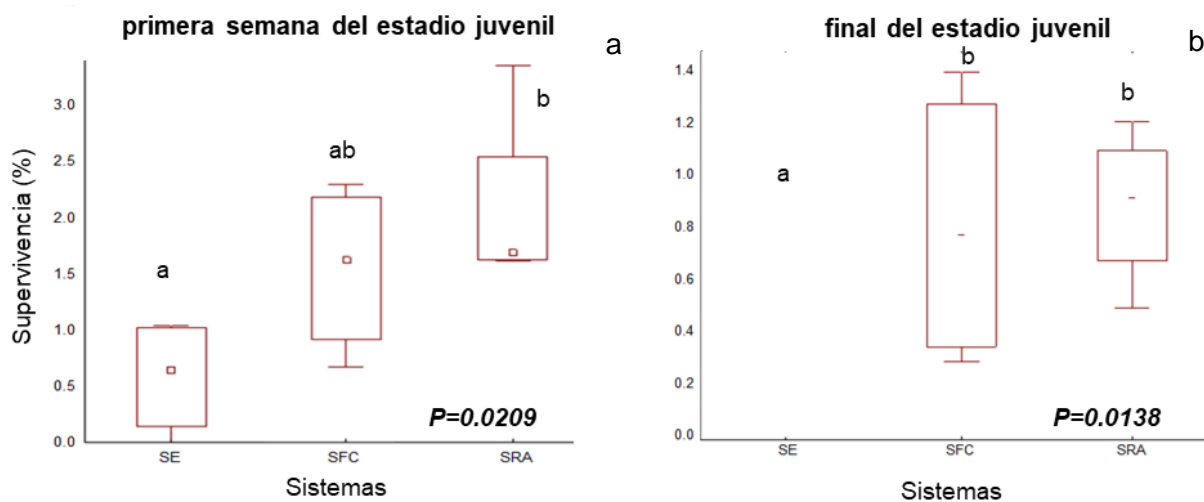
En la semana inicial del estadio de juvenil (semana 5) el SE registró una disminución en la supervivencia hasta valores de 0.6 % y 0% en los recipientes de cultivo en la semana seis, siendo éste, el único sistema donde se registró la pérdida total de los organismos (Fig. 20). Durante la semana cinco también se observó una disminución drástica en la supervivencia de los juveniles de abulón en los otros dos sistemas de cultivo, registrando porcentajes de 1.3 % para el SFA y de 1.5% para el SRA, siendo este último el de mayor porcentaje de

supervivencia para este periodo. En esta semana se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en la supervivencia entre estos sistemas experimentales (Fig. 21 a).



**Figura 20.** Valores promedio y de los porcentajes de supervivencia de juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuicola) durante la semana 5 a 8 post-aseñamiento.

En los SFA y SRA se lograron mantener organismos vivos hasta la semana ocho, al final del bioensayo el SRA tuvo la mayor supervivencia con 0.9 e intervalos de 0.6 a 1.2 % mientras que el SFA mostro una supervivencia de 0.8 con intervalos de 0.1 a 1.5 %, al finalizar el periodo de evaluación. No se encontraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre estos sistemas (Fig. 21 b).



**Figura 21.** Diagrama de cajas y bigotes que muestra el porcentaje de supervivencia de juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) cultivados bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) durante la 5ta y 8va semana de cultivo. Los gráficos muestran los valores de mediana, 2 y 3 cuartiles y los intervalos de confianza. Los suscritos “a y b” que indican diferencias significativas.

#### 6.4.2 Crecimiento de juveniles

Las mayores TCs del estadio juvenil se observaron en el SE y el SRA, donde se registraron valores de  $61.3 \pm 3.2 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  (semana 5) y de  $67.2 \pm 25.3 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  (semana 6), respectivamente. En el caso del SE y después de la semana 5 se observó la mortalidad total de los organismos (Tabla IV).

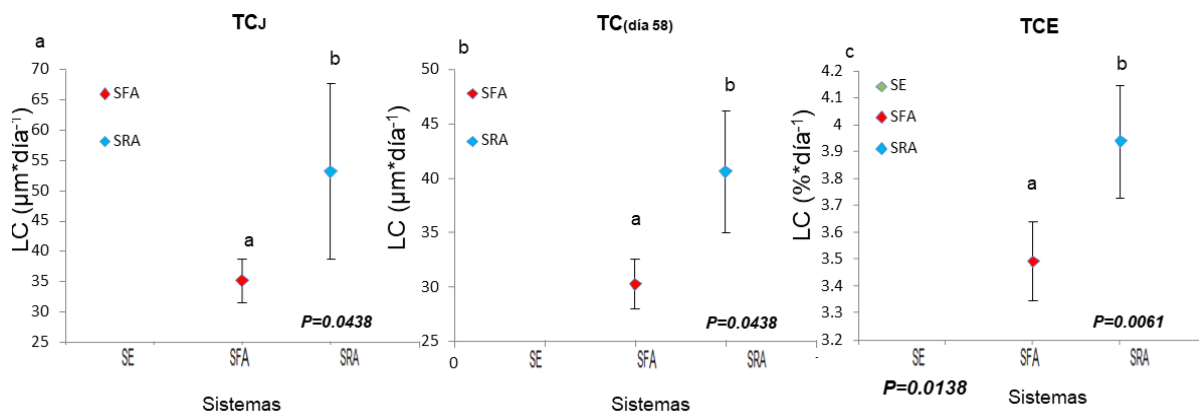
**Tabla IV.** Valores promedio y desviación estándar de las tasas de crecimiento en longitud de concha (LC en  $\mu\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$ ) de los juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) registradas durante la semana 5 a 8 post-aseñamiento (estadio juvenil) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los suscritos “a, b y c” indican diferencias significativas.

Semana	SE	SFA	SRA
5	61.3 $\pm$ 3.2	60.7 $\pm$ 13.2	56.4 $\pm$ 8.4
6	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	23.6 $\pm$ 17.5 <sup>b</sup>	67.2 $\pm$ 24.3 <sup>a</sup>
7	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	40.4 $\pm$ 20.8 <sup>a</sup>	31.9 $\pm$ 17.8 <sup>a</sup>
8	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	15.9 $\pm$ 23.3 <sup>b</sup>	57,2 $\pm$ 46.0 <sup>a</sup>

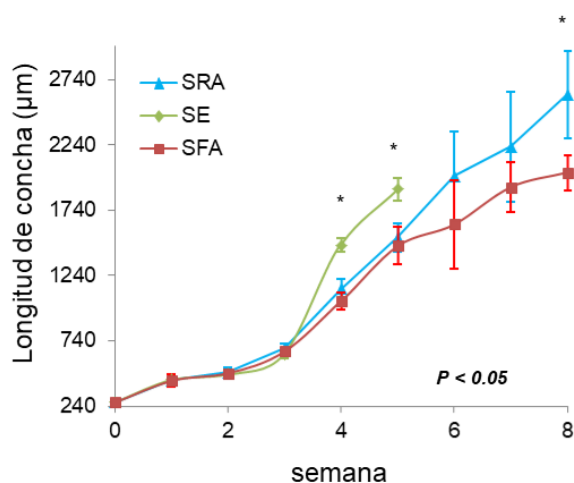
Solo se pudieron calcular las  $TC_J$  para los juveniles cultivados en los SFA y SRA; ya que se había registrado una mortalidad total en los organismos cultivados en el SE. La mayor  $TC_J$  se obtuvo en el SRA con un valor de  $53.2\pm 7.4 \mu\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$ , mientras que el SFA mostró un valor máximo de  $TC_J$  de  $35.1\pm 1.9 \mu\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$ , observándose diferencias significativas ( $P<0.05$ ) entre los sistemas (Figura 22 a). La TCE calculada para el periodo final fue mayor en el SRA con un  $3.94\pm 0.11 \%\cdot\text{día}^{-1}$ . Mientras que la TCE para los organismos cultivados en el SFA fue de  $3.49\pm 0.07 \%\cdot\text{día}^{-1}$  (Figura 22 b), registrándose diferencias significativas entre los tratamientos.

Las mayores tallas registradas en los sistema fueron de  $2,025.4\pm 67.8 \mu\text{m}$  de LC para el SFA, mientras que los organismos cultivados en el SRA registraron tallas de  $2,624.2\pm 169.2 \mu\text{m}$  de LC. En cuanto a los organismos

cultivados en el SE, estos alcanzaron una talla máxima de  $1,899 \pm 44.4 \mu\text{m}$  de LC, en la semana cinco post-asentamiento (Fig. 23).



**Figura 22.** Tasas de crecimiento de: a) juveniles (TC<sub>J</sub>), b) a los 58 días post-asentamiento (TC<sub>58</sub>) y c) específica (TCE) de juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) cultivados bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuicola). Los suscritos “a, b y c” indican diferencias significativas.

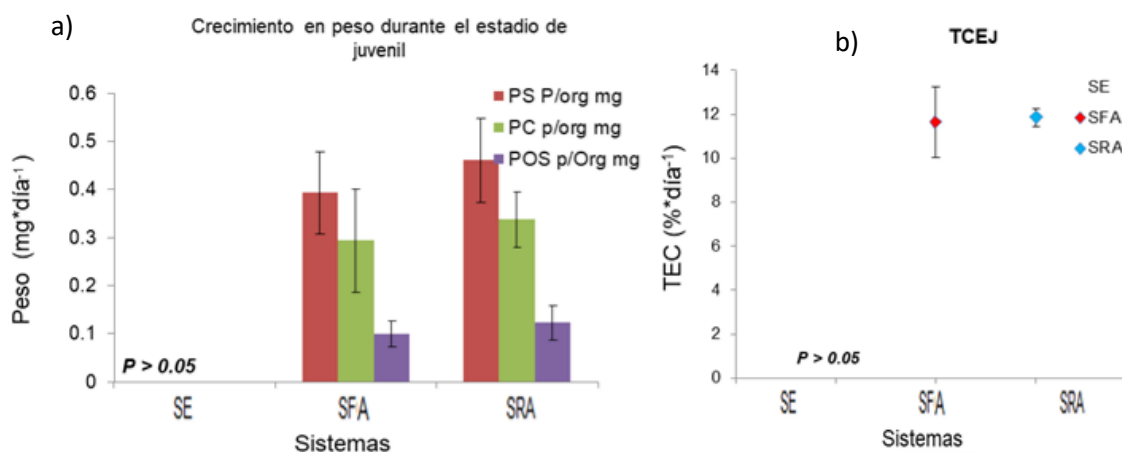


**Figura 23.** Valores promedio y desviación estándar del crecimiento en longitud de concha ( $\mu\text{m}$ ), de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) cultivadas bajo un SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Los suscritos “a, b y c” indican diferencias significativas. \* indica semana con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

#### 6.4.3 Peso seco, orgánico seco y cenizas de juveniles de abulón rojo.

No se observaron diferencias significativas de peso seco, peso orgánico seco y peso de cenizas de los organismos cultivados en el SFA y el SRA. Debido a la mortalidad total de los organismos en el SE, no fue posible determinar estas variables. Los juveniles de abulón rojo del SFA y del SRA registraron pesos de  $29.3 \pm 2.5 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$  y  $33.1 \pm 0.4 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$  de PH. El PST de los juveniles fue mayor en el SRA con  $12.8 \pm 1.4 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ , mientras que en el SFA se registró un peso promedio de  $11.3 \pm 0.4 \text{ mg} \cdot \text{org}^{-1}$ . La tendencia del incremento de peso fue similar a la presentada durante el estadio de post-larva. Los juveniles de abulón rojo

registraron un PSO y PC de  $3 \pm 0.5$  y  $9.2 \pm 0.2$   $\text{mg} \cdot \text{org}^{-1}$  para el SRA y de  $3 \pm 0.3$  y  $7.9 \pm 0.5$   $\text{mg} \cdot \text{org}^{-1}$  para el SFA (Figura 24 a).



**Figura 24.** Crecimiento en peso de los organismos registrado en los sistemas experimentales a) crecimiento diario en  $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$  y b) Tasa de crecimiento específico ( $\text{TCE}_J$ ) del estadio de juvenil. Las barras ilustran los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar de Peso seco PS, peso de cenizas PC y peso seco orgánico POS registrado en cada sistema durante el estadio juvenil. Las letras “a, b” indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el incremento en peso de los juveniles en los sistemas experimentales.

La TEC registrada durante todo el periodo experimental fue de  $11.9 \pm 0.2$  y de  $11.6 \pm 0.8$   $\% \cdot \text{día}^{-1}$  para el SRA y para el SFA, respectivamente (Figura 24 b). No se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) de esta variable entre los sistemas experimentales.

## 6.5. RENTABILIDAD FINANCIERA:

El SRA fue el sistema más costoso con una inversión inicial calculada de \$93,543.96 pesos m.n. en infraestructura debido a todos los equipos y accesorios que contiene, el SFA se calculó con un costo de \$ 29,614.68 pesos m.n. y el SE con un costo de \$ 45,054.68 pesos m.n. (ANEXO III, Tabla ).

Los costos calculados referentes a insumos, consumibles y capital de trabajo fueron mayores en el SFA con \$327,290.74 pesos m.n., seguido del SRA en donde estos fueron de \$259,924.89 pesos m.n., y al último el SE en donde los costos fueron de \$203,723.27 pesos m.n. Registrándose este último con los menores costos operativos (Tabla V).

El cálculo del costo total de producción, fue mayor para el SFA requiriendo este de \$356,905.42 pesos m.n. anuales para operar. Mientras que el SRA resulto con un requerimiento de \$353,468.85 pesos m.n. para operación anual. Y por último el SE, que resulto con un requerimiento para operación anual de \$248,777.95 pesos m.n. (Tabla V).

**Tabla V.** Relación del costo de activos tangibles, insumos, consumibles y capital de trabajo y el porcentaje que representan para la operación de los sistemas de cultivo de las post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*); SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola).

	SE		SFA		SRA	
	Inversión (\$)	(%)	Inversión (\$)	(%)	Inversión (\$)	(%)
<b>Inversión de activos tangibles</b>	\$ 45,054.68	18.1	\$ 29,614.68	8.3	\$ 93,543.96	26.5
<b>Insumos</b>	\$ 71,855.00	28.8	\$200,587.00	56.2	\$ 1,275.00	0.4
<b>Consumo de Energía eléctrica</b>	\$ 11,678.27	4.69	\$ 6,513.74	1.8	\$ 78,459.89	22.2
<b>Equipo de Medición de Parámetros</b>	\$ 36,190.00	14.5	\$ 36,190.00	10.1	\$ 36,190.00	10.2
<b>Capital de Trabajo</b>	\$ 84,000.00	33.8	\$ 84,000.00	23.5	\$144,000.00	40.7
<b>Costo Total de Producción</b>	\$ 248,777.95	100	\$ 35,6905.42	100	\$ 353,468.85	100

Por medio del porcentaje de supervivencia de los organismos obtenidos en la fase experimental, se calculó una producción anual de: 51,165; 26,243 y 46,557 organismos para el SE, SFA y SRA, respectivamente. Registrándose un valor anual calculado de: \$255,568.18; \$174,779.71 y \$ 310,068.29 pesos m.n., para el SE, SFA y SRA, respectivamente (Tabla VI).

**Tabla VI.** Ingresos calculados en el SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) de cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) durante un periodo mensual y anual. Los valores se calcularon tomando como base los resultados de crecimiento en LC y el porcentaje de supervivencia alcanzados durante el primer mes de evaluaciones experimentales.

<b>Ingresos por ventas</b>	<b>SE</b>	<b>SFA</b>	<b>SRA</b>
<b>Supervivencia (%)</b>	27.1	13.9	23.6
<b>Cantidad de organismos (#)</b>	51,165	26,243	46,557
<b>Precio de organismo (pesos/mm)</b>	\$ 0.37	\$ 0.37	\$ 0.37
<b>Talla (LC en mm)</b>	1.5	1.0	1.1
<b>Valor de cada organismo (pesos/mm)</b>	\$ 0.56	\$ 0.56	\$ 0.56
<b>Valor de venta por periodo</b>	\$28,396.46	\$ 14,564.98	\$25,839.02
<b>Periodos por año</b>	8	12	12
<b>Ingreso por ventas en un año</b>	\$ 255,568.18	\$174,779.71	\$ 310,068.29

El cálculo de la utilidad neta se mostró positivo a partir del segundo año para el SE, para el SRA fue a partir del tercer año y para el SFA no observo ganancia “*per se*” en los seis años evaluados, debido a los resultados de crecimiento y supervivencia obtenidos con el uso de este sistema durante la evaluación experimental.

Para el final de la proyección del ejercicio los sistemas SE y SRA mostraron una ganancia calculada de \$152,151.48 pesos y de \$259,889.70 pesos m.n., respectivamente.

Los indicadores de rentabilidad mostraron al SE como la opción más viable y al SRA como el segundo más rentable. El VAN, la TIR y el ID fueron los indicadores más claros en el SE con valores calculados de \$22,986.09 pesos; 13.1 % y 1.46, respectivamente. Con respecto al SRA con valores calculados de: \$1,450.15 pesos, 12% y 0.53, respectivamente. Por otro lado el RSI, el PR y el RB/C presentaron márgenes mucho más estrechos (Tabla XII). El SFA, no tuvo valores positivos en ninguno de los indicadores.

**Tabla VII.** Indicadores de rentabilidad de los sistemas evaluados: SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) en el cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) durante la corrida experimental.

Indicador	SE	SFA	SRA
<b>VAN (pesos m.n.)</b>	\$ 129,340.06	\$ 22,968.09	\$ 1,450.15
<b>TIR (%)</b>	13.10%	12.05%	12.00%
<b>RSI (pesos m.n.)</b>	0.46	0.11	0.43
<b>ID</b>	1.46	1.11	0.53
<b>PR</b>	4 años 5 meses	5 años 9 meses	4 años 11 meses
<b>RB/C</b>	1.47	1.23	1.45

Por último el valor de venta calculado para los sistemas evaluados resultó mayor en el SRA con un valor de \$377,634.31 pesos m.n. para alcanzar el punto en donde se gana prácticamente lo que se invierte, el SE resulto ser el que presento el valor calculado más pequeño con solo \$268,931.94 pesos m.n.

La cantidad de abulones que se necesitan para alcanzar el punto de equilibrio fue mayor en el SRA con una producción de 58,123 (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Puntos de equilibrio de: el valor de ventas (PEVV) y del volumen de producción (PEVP) de los sistemas evaluados: SE (Sistema Estático), SFA (Sistema de Flujo Abierto) y SRA (Sistema de Recirculación Acuícola) de cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) durante la corrida experimental.

	<b>PEVV</b>	<b>PEVP</b>
<b>SE</b>	\$ 268,931.94	55,574
<b>SFA</b>	\$ 370,247.79	56,501
<b>SRA</b>	\$ 377,634.31	58,123

## CAPÍTULO 7. DISCUSIONES

---

### 7.1 Calidad del agua de los sistemas.

Los sistemas experimentales mostraron similitud en la mayoría de variables de calidad del agua que pueden influir en el crecimiento y supervivencia de los abulones en cultivo. La evaluación previa de los sistemas ayudo a verificar la capacidad de éstos para mantener las variables físico-químicas (temperatura, compuestos nitrogenados, pH, alcalinidad y oxígeno disuelto) dentro del intervalo adecuado para el cultivo de postlarvas de *Haliotis rufescens*.

Durante el periodo experimental la temperatura presentó mayor estabilidad tanto en el sistema estático (SE) como en el sistema de recirculación acuícola (SRA) registrándose variaciones promedio de 0.2 ° C, comparados con el sistema de flujo abierto (SFA), en el cual se observaron variaciones promedio de 0.6 ° C, aun cuando este último sistema, contaba con una unidad de enfriamiento de agua. Esta diferencia se atribuye a que diario ingresaba agua nueva al sistema, equivalente a 48 recambios al día (4,800% de recambio de agua por día). Estas variaciones en la temperatura también han sido documentadas por Park *et al.* (2008), quienes estimaron una pérdida del 50% en la temperatura del agua en un sistema de flujo abierto con tan solo 6 recambios de agua al día, a pesar de contar con componentes que les permitían regular la temperatura y el agua entrante solo presentaba 3 °C de

diferencia con respecto a la temperatura de cultivo. También, Davis y Carrington (2005) mostraron que la tasa de recambio óptima para mantener la temperatura debe de ser de aproximadamente el 60% al día, cuando se cuenta con unidades de enfriamiento. Sin embargo, Park *et al.* (2008) y Jayatissa *et al.* (2002) coinciden en que una tasa de flujo menor a 6 recambios diarios (600%) incrementa la concentración de amonio y compuestos nitrogenados, lo cual, resulta riesgoso para los organismos a pesar de no estar expuestos a variaciones térmicas.

En este bioensayo la concentración de N-TAN, se mantuvo en el SRA dentro del intervalo requerido para el cultivo de post-larvas de *H. rufensens*, en donde se registraron concentraciones de  $0.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , mientras que en los SFA y SE se registraron concentraciones de  $0.38$  y  $0.41 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectivamente (ANEXO I). La misma tendencia se observó en las concentraciones de nitritos con  $0.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  en el SRA y  $0.14$  y  $0.19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  en los SFA y SE, respectivamente. Mientras que la concentración de nitratos presentaron una tendencia contraria con una mayor concentración en el SRA,  $19 \pm 9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , con respecto a los otros dos sistemas que registraron concentraciones cercanas a los  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Este comportamiento se debe a la efectividad del biofiltro de oxidar el nitrógeno amoniacal total (NAT) hasta nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y así poder mantener concentraciones menores de NAT en niveles tóxicos reportados para abulón. Autores como Davis y Carrington (2005), recomiendan la necesidad de implementar biofiltros y sistemas de recirculación para mantener

concentraciones de NAT por debajo de  $0.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  y de esta manera evitar que se afecte el crecimiento y la supervivencia de los abulones. En este estudio, los compuestos nitrogenados estuvieron presentes en el SFA y SE en concentraciones no letales para los abulones, no obstante en este tipo de sistemas no se pueden regular los compuestos nitrogenados, debido a las tasas de recambio de agua con las que operan regularmente. Específicamente para este estudio la concentración de los compuestos nitrogenados dependen más del reservorio marino de donde se capte el agua, que del sistema experimental utilizado.

La alcalinidad en todos los sistemas se mantuvo en una concentración de  $140 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ , sin la necesidad de adicionar bicarbonato de calcio, el cual es comúnmente usado para mantener la concentración de dicho compuesto. A diferencia de este estudio, otras investigaciones sobre cultivos de juveniles de abulón en SRA han requerido de la adición de sustratos alcalinos como bicarbonato de sodio y concha molida de abulón para mantener concentraciones de 100 a  $165 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$  (Vivanco-Aranda *et al.* (2011) y Badillo-Sotelo (2007).. Esto podría deberse a que la biomasa que se utilizó en esos experimentos fue de 50 y 2,000 g respectivamente. La cual demando la adición de estos compuestos para mantener la alcalinidad en el intervalo de 100 a  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ; concentración necesaria y recomendada para el correcto funcionamiento de los biofiltros en los SRA (Timmons *et al.*, 2002). En este estudio, la biomasa en cada sistema no fue superior a 5 gramos en

ninguna de las etapas evaluadas, lo cual provoco que las bacterias nitrificantes no se vieran afectadas y regularan bien los compuestos nitrogenados (Hagopian y Riley 1998).

El CO<sub>2</sub>, los bicarbonatos y los carbonatos calculados, al ser variables dependientes de la alcalinidad y del pH, se mantuvieron estables en todos los sistemas, no obstante, en el SE el valor de CO<sub>2</sub> se incremento a 0.2 mg\*L<sup>-1</sup> con respecto de la concentración registrada en los otros sistemas. Esto posiblemente se debió a que en los periodos de obscuridad tanto los abulones como las diatomeas proporcionadas como alimento respiraban y por tanto aumentaba el consumo de oxígeno y por consecuencia la producción de CO<sub>2</sub> en el sistema. Investigaciones realizadas por Uki y Kikuchi (1975) documentan un incremento de hasta 20% en el consumo de oxígeno asociado con los hábitos nocturnos de los abulones en sistemas semi-cerrados. Asimismo, Searcy-Bernal *et al.* (1992); Daume *et al.* (1999) también registraron variación en la concentración de oxígeno asociadas con la densidad del alimento. A pesar de que en estas investigaciones no se midió la concentración de CO<sub>2</sub> directamente, se sabe que su incremento tiene un efecto indirectamente proporcional con el pH, lo cual podría explicar la ligera disminución de 0.1 unidades en el SE. Frieder *et al.* (2012) y Hofmann *et al.* (2011) reportaron incrementos lineales con respecto a la concentración de oxígeno y pH, así como también la influencia que tiene la temperatura en estos factores.

En este trabajo, las variaciones en las concentraciones de oxígeno registradas en todos los sistemas, nunca fueron menores a  $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , por lo que se considera que los sistemas siempre presentaron valores de calidad del agua dentro de los intervalos reportados como óptimos para el cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo (Roberts *et al.*, 2000).

## 7.2 Desarrollo larval y asentamiento

Los porcentajes de fecundación y eclosión obtenidos en este ensayo, fueron mayores al 90 %, lo cual sugiere que estos estadios se llevaron bajo condiciones ambientales adecuadas. Autores como Leighton (2000); Lafarga-De La Cruz (2010) y González-Aragón (2017), coinciden en que las tasas de fecundación pudieran ser mayores a 90% cuando la fertilización se realiza con las concentraciones espermáticas adecuadas ( $1 \times 10^6 \text{ esp} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) y mayores al 80% de eclosión cuando la gestación de los ovocitos se lleva a cabo en intervalos térmicos de 16-18 °C, la cual coincide con los resultados de la experimentación de este estudio.

La supervivencia larval al 7mo día fue menor al 10% lo cual es inferior a lo registrado en otras investigaciones. Lafarga-De la Cruz *et al.* (2012), registró una supervivencia de 64% al 6to día, en cruces de abulón rojo mientras que Leighton y Lewis (1982) y González-Aragón (2017) reportaron supervivencias del 30 al 40%. La baja supervivencia durante el experimento, pudo deberse a la

densidad de cultivo ya que en este experimento se usó una densidad de 10 larvas\*mL<sup>-1</sup>, mientras que en las otras investigaciones no exceden la cantidad de 5 larvas\*mL<sup>-1</sup>. Otro factor pudo ser el hecho de que durante los recambios de agua al sistema de larvas, se eliminaba todas las larvas que se encontraban en el fondo, sin discriminar a las vivas de las muertas, esto se realizó como una medida precautoria; ya que las larvas muertas pueden ser un vector de contaminación e influir en la salud de los cultivos.

Los resultados del asentamiento fueron mayores a 96% en todas las unidades experimentales lo que sugiere que en esta prueba la película de *Navícula incerta* tuvo una buena función como agente inductor al asentamiento. Algunas investigaciones sugieren que el éxito en el asentamiento está influenciado por la presencia de agentes inductores. Leighton (2000), menciona que cuando se utiliza GABA como agente inductor se pueden obtener tasas de asentamiento que varían de 95 a 100 %, para las especies de abulón de la costa del pacífico (*H. rufescens*, *H. fulgens*, *H. corrugata* y *H. sorenseni*). Por otro lado Roberts y Nicholson (1997) y Daume et al. (1999) sugieren que las películas de microalgas pueden ejercer un efecto similar a los inductores y promover asentamientos superiores a 90% en especies de abulón como *H. iris*, *H. rubra* y *H. leavigata*, siendo estos resultados similares a los obtenidos en este trabajo.

### 7.3 Supervivencia de post-larvas y juveniles de abulón rojo.

La supervivencia desde la primera semana y hasta el final del cultivo de post-larvas fue mayor en el SE, que en el SFA y SRA. Sin embargo, en la última semana de este periodo (4ta semana), se registró solo un 3% de diferencia en la supervivencia entre el SE (27%) y SRA (24%). Es probable que estos resultados hayan estado influenciados con el suministro y la densidad de la película de diatomea, ya que se adicionaron semanalmente raciones de 2,000 mL con una concentración mayor a  $1 \times 10^7$  cél\*mL, para tratar de garantizar una disponibilidad constante de alimento. Si a esto le sumamos los periodos de luz y obscuridad (12:12), esto pudiera haber sido la causa de las bajas tasas de sobrevivencia registradas durante el ensayo. Trabajos como los desarrollados por Gorrosieta-Hurtado (2005), muestran la susceptibilidad de las post-larvas a la concentración de diatomeas y a condiciones de luz; teniendo como resultado supervivencias de 68% en post-larvas de *H. rufescenes* cultivadas con luz y expuestas a densidad de diatomea de hasta  $1,000$  cél\*mm<sup>-2</sup>, donde se ha registrando una reducción en la supervivencia conforme se aumentaba la densidad de diatomeas, en esta condición de luz y hasta alcanzar 24% en una densidad de  $8,000$  cél\*mm<sup>-2</sup>. En este trabajo la ración de diatomea muy posiblemente excedió la cantidad de  $8,000$  cél\*mm<sup>-2</sup>, y al estar en condiciones de iluminación durante 12h es posible que haya existido una sobresaturación de oxígeno como lo describen Searcy-Bernal *et al.* (2003) y Roberts *et al.* (2000).

De igual manera, se observó que durante la evaluación, los sistemas con menores tasas de supervivencia post-larval, fueron aquellos en donde se colocó flujo, asemejando el comportamiento reportado por Miranda-Saucedo (2011), quien registró una reducción en la supervivencia de post-larvas de *Haliotis rufescens* del 40% cuando estas eran cultivadas con flujos de  $600 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  (equivalente a 43 recambios al día) teniendo los mejores resultados de supervivencia en los sistemas estaticos. Gorrosieta-Hurtado, (2005), también registró una disminución en la supervivencia de hasta 50% con flujos de  $600 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ .

La supervivencia de las post-larvas disminuyo en mayor magnitud en el SFA hasta alcanzar un 14% en 3 meses, lo cual podría deberse a un efecto adicional causado por el poco control sobre las variables ambientales, principalmente la temperatura, que tuvo variaciones de hasta  $1^{\circ}\text{C}$  en este periodo (ANEXO II). A pesar de que autores como Leighton (2000), menciona que *H. rufescens* puede desarrollarse bien en intervalos térmicos entre  $16$  a  $18^{\circ}\text{C}$ , es posible que en este trabajo la combinación del flujo, los cambios en la temperatura y la dinámica de las raciones alimenticias suministradas, hicieran que en el SFA probado se propiciara un ambientes poco favorable para post-larvas de *H. rufescens* y por lo tanto la supervivencia en esta etapa fuera baja.

Las tasas de supervivencia durante la semana 4 y hasta el final del periodo de cultivo tuvieron bajas considerables en todos los sistemas, siendo el SE, el más afectado ya que se registro un 100% de mortalidad. Mientras que en

los otros dos sistemas (SFA y SRA) se registraron porcentajes de supervivencia cercanas al 1%; siendo el SRA el que registro el mayor porcentaje de supervivencia (1.5%). Es muy posible que la mortalidad se asocie a una contaminación del cultivo por bacterias, protozoarios y otros organismos como copépodos, los cuales pudieron competir por espacio, alimento y en determinados casos actuar como vector de enfermedades para las post-larvas de abulón. Searcy-Bernal *et al.* (1992) menciona que infestaciones de protozoarios pueden causar mortalidades casi totales en cultivos experimentales con poco volumen de agua. Park *et al.* (2008), menciona la importancia de que los sistemas sean complementados con métodos de esterilización como luz UV, o algun tipo de bactericidas, esto para prevenir las proliferación de bacterias patógenas y copépodos ya que la presencia de estos microorganismos en los sistemas de cultivo pueden causar mortalidades masivas en abulones menores a 5 mm de longitud de concha. Cabe señalar que no se realizaron análisis sobre la concentración de protozoarios, bacterias o de organismos presentes en los cultivos, pero a partir de la 3er semana se comenzaron a observar protozoarios en las conchas extraídas durante las limpiezas y los SE y SRA presentaron una mayor cantidad de copépodos los cuales no se pudieron erradicar.

#### 7.4 Crecimiento de post-larvas y juveniles de abulón rojo

El crecimiento de las post-larvas fue afectado por el tipo de sistema utilizado para su cultivo. En el SE se presentaron las mayores tasas de crecimiento ( $46.6 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) con respecto a los SFA y SRA ( $34$  y  $36 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ). Estos valores también fueron mayores en comparación a las mencionadas por otros autores como Searcy-Bernal, 1988 ( $38 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) y Badillo-Sotelo, 2005 ( $30 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ), encontrándose un comportamiento similar, demostrando que el sistema estático brindan mejores condiciones para el mantenimiento de los organismos durante el estadio de post-larva, debido a la inocuidad y control en la alimentación que se logra en este tipo de sistemas.

El incremento en peso orgánico seco fue mayor en el SRA ( $9.2 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot \text{org} \cdot \text{día}^{-1}$ ) lo que sugiere que los organismos del sistema de recirculación, lograron aumentar la talla de forma más eficiente favoreciendo el incremento de biomasa. Mientras que los organismos del SE, solo incrementaron su tamaño de concha. Estos resultados coinciden con los reportados por Miranda-Saucedo (2011), quien comprueba que mediante una correcta alimentación, en un SE, se logran obtener óptimas tasas de crecimiento. No obstante, en este caso los valores de crecimiento fueron muy alentadores, ya que los juveniles en el SRA mostraron una mayor tasa de crecimiento durante el estadio juvenil (45 días post-asentamiento) con  $53.2 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ,  $20 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  más de lo obtenido en el SFA. Estas tasas de crecimiento fueron similares a las obtenidas por Rangel-Mendoza (2016); en donde, gracias a un enriquecimiento de láminas de

macroalgas con algunas epifitas, logra generar organismos con mayor crecimiento y peso, comparados con aquellos que solo se alimentan de macroalga.

De igual manera, las tasas de crecimiento presentadas en este trabajo (SE  $40 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , SFA  $34.3 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  y SRA  $36.1 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) son similares a las reportadas en otros estudios de post-larvas de esta especie, alimentadas con *N. incerta*. Por ejemplo, las tasas de crecimiento reportadas por Gorrosieta-Hurtado y Searcy-Bernal (2007) fueron de 30 y  $38 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  durante 50 días post-asentamiento variando el flujo de agua y la cantidad de iluminación. Correa-Reyes et al. (2009) reportan una tasa de crecimiento de  $21 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ , en post-larvas de abulón rojo con diferentes dietas de diatomeas bentónicas durante un periodo de 50 días post-asentamiento. Searcy-Bernal et al. (2007) reportan tasas de crecimiento entre 37 y  $63 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$  durante una experimentación de 111 días (post-asentamiento) con abulón rojo "*Haliotis rufescens*" en una granja comercial.

La mortalidad registrada en todos los sistemas, durante las semanas 4 y 5, se pueden atribuir a una infestación de protozoarios que no pudo ser controlada (Searcy-Bernal *et al.*, 1988) y a una mayor concentración de bacterias nocivas en conjunto con una invasión de copépodos. Siendo estos últimos los organismos que se observaron con mayor frecuencia en los sistemas, desde la semana 3 hasta la semana 6 del periodo de experimentación.

## 7.5 Evaluación financiera

A pesar de que el cultivo de los diversos productos marinos se ha convertido en una magnífica oportunidad de inversión, no es usual encontrar estudios sobre la rentabilidad o viabilidad económica de estas actividades (Vidal-Gimenez, 2001) y menos aún, para la implementación de un SRA en el mantenimiento de etapas tempranas de abulón. Por lo que se utilizaron artículos similares para la comparación de los resultados obtenidos en esta tesis.

Los indicadores analizados en este trabajo son utilizados en la evaluación de proyectos, pues son conceptos valorizados que expresan el rendimiento económico de la inversión y basándose en estos valores podemos tomar la decisión de aceptar o rechazar un proyecto o sistema de cultivo (Muñante, 2004).

La inversión que se requiere para la implementación de un SRA es mayor debido a la infraestructura que se necesita para mantener condiciones óptimas, entre estas, se encuentra; principalmente el control de temperatura la cual se realiza a través de enfriadores de agua (Chillers). Algunas empresas o productores acuícolas lo consideran como un gasto innecesario, sin embargo, Park et al. (2008) reporta la necesidad de operar equipos que controlen la temperatura, al menos, durante un tercio del año para mantener las condiciones adecuadas para el organismo. Ahora bien, de acuerdo a los resultados obtenidos durante la evaluación financiera, los costos se vieron mayormente

influenciados por el consumo energético (bomba de agua, enfriadores y luz para la producción de microalgas) y los costos atribuibles a la cantidad de agua y capital de trabajo que se utilizan en cada uno de los sistemas. Sin embargo, dicha inversión, se vio reflejada en un SRA con mayor ingreso por ventas en 1 año y una producción total anual intermedia (46,557). La producción total anual es un factor determinante para el cálculo de las instalaciones y los costos iniciales y de mantenimiento que están íntimamente ligados a ésta (Ruiz y Ruiz, 1991), por lo que la producción reportada para el SRA se puede considerar como punto positivo para su implementación.

Por otro lado, para conocer específicamente la rentabilidad de los sistemas, además de un análisis financiero, se debe de tomar en cuenta la rentabilidad de las especies cultivadas, lógicamente, de la evolución comercial de la producción, aunque como ventaja, está el presentar un ciclo de post-larvas corto y unos mínimos gastos de mantenimiento de larvas (Vidal-Gimenez, 2001). En el SRA el mantenimiento de post-larvas fue relativamente, corto (3 meses), sin embargo, los organismos pueden permanecer en el sistema hasta alcanzar tallas de 8 o 10 cm, representando un ahorro en la implementación de infraestructura para su engorda. Esto, también se ve reflejado en un mayor valor de venta calculado y una utilidad neta a partir del 3er año, en comparación con el SFA en donde no se obtuvieron valores positivos en ninguno de los indicadores analizados, por lo tanto no represento ganancias.

## CAPITULO 8. CONCLUSIONES

- No se observaron diferencias significativas entre los diferentes parametros de calidad de agua evaluados en ninguno de los tres diferentes sistemas de cultivo (SE, SFA y SRA) para *Haliotis rufescens*.
- El SFA fue el que presentó la mayor tasa de asentamiento (97%) y porcentaje de sobrevivencia de larvas (98%) de *Haliotis rufescens*.
- El SE fue el que presentó mayor tasa crecimiento ( $46.6 \pm 1.0 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) durante la etapa de post-larva de *Haliotis rufescens*, seguido del SRA ( $36.1 \pm 1.4 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) y el SFA ( $34.3 \pm 1.8 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ).
- El mayor porcentaje de supervivencia de organismos se registró en el SE (27.1%) durante la etapa de post-larva, seguido del SRA (23.6%) y el SFA (13.9%).
- Los organismos cultivados en el SRA registraron mayor tasa crecimiento ( $53.2 \pm 7.4 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ ) durante la etapa de juvenil, seguido del SFA con  $35.1 \pm 1.9 \mu\text{m} \cdot \text{día}^{-1}$ .
- El SRA fue el que presento un mayor porcentaje de supervivencia de organismos (1.5%) , durante la etapa de juvenil de *Haliotis rufescens*, seguido del SFA y el SE con 1.3% y 0.6%, respectivamente.

- Los post-larvas de *Haliotis rufescens* que se cultivaron en el SRA presentaron mayor PSO ( $9.2 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot \text{org} \cdot \text{día}^{-1}$ ) en comparación con aquellos cultivados en el SFA ( $7.9 \pm 0.5 \text{ mg} \cdot \text{org} \cdot \text{día}^{-1}$ ).
- El SRA requiere mayor inversión en infraestructura, sin embargo, presenta mayores ingresos por ventas en 1 año de post-larvas de *Haliotis rufescens*.
- El costo de producción de post-larvas de *Haliotis rufescens* en el SFA es mayor debido a los insumos requeridos y costos generales de inversión.
- El SE fue el que presentó menor costo de operación para la producción de *Haliotis rufescens*.
- La producción anual estimada de post-larvas de *Haliotis rufescens* fue mayor en el SE (51,165 organismos), seguida por el SRA (46,557 organismos) y el SFA (26,243 organismos).
- El análisis de rentabilidad mostró que el SRA fue el que representó una utilidad neta a partir de los 3 años de operación, mientras que el SFA no representó ganancias con los resultados obtenidos en este trabajo para la producción de post-larvas de *Haliotis rufescens*.
- Los indicadores de rentabilidad mostraron al SE como el más viable y al SRA como el más rentable para la producción de post-larva de *Haliotis rufescens*.

- El SFA fue el que no mostró valores positivos en ninguno de los indicadores de rentabilidad analizados.
- El SRA presentó un mayor valor de venta calculado.
- Es de particular importancia demostrar que al menos dos alternativas de cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo *Haliotis rufescens*, fueron evaluadas y que la alternativa seleccionada (SRA) es la más eficiente en términos de costo-beneficio.

## CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES

---

- Se recomienda hacer evaluaciones genéticas de los organismos en los diferentes estadios (larva, post-larva y juvenil) con la finalidad de determinar la presencia o ausencia de factores estresantes que pudiesen modificar el correcto patrón de alimentación en los organismos de *Haliotis rufescens*.
- Se debe ampliar el tiempo de evaluación para conocer el comportamiento de los organismos, durante etapas de transición de alimento de microalga a macroalga.
- Se recomienda realizar una evaluación minuciosa acerca del flujo en los sistemas. En este estudio se ajustaron a lo largo del experimento 4 diferentes Flujos (2, 4, 6 y 8 Lpm) comprendiendo las etapas de larva, post-larva y juvenil. Sin embargo, no se evaluó a detalle el efecto de esta variable en la supervivencia y crecimiento de los organismos.
- Se recomienda poner mayor énfasis en la concentración del biofilm de diatomeas bentónicas.
- Se recomienda evaluar la supervivencia y crecimiento de post-larvas y juveniles de abulón *Haliotis rufescens* , variando el tipo de sistema a lo largo del desarrollo, iniciando con el asentamiento en SE y el crecimiento de juveniles en SRA.

- Es importante considerar mejorar la filtración del agua y mantener la sanitización del SRA para la producción de post-larvas de *Haliotis rufescens*.

## Capítulo 10. Literatura citada

---

- Al-Rashdi, K. M., y Iwao, T. 2008. Abalone, *Haliotis mariae* (Wood, 1828), hatchery and seed production trials in Oman. *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*, 13, 53-63. <http://dx.doi.org/10.24200/jams.vol13iss0pp53-63>
- Alvarez-Tinajero, M. D. C., Cáceres-Martínez, J., y Gonzalez-Aviles, J. G. 2001. Shell boring clams in the blue abalone *Haliotis fulgens* and the yellow abalone *Haliotis corrugata* from Baja California, México. *Journal of Shellfish Research*, 20(2), 889-893.
- Aristondo-Morales, Ericka. 2009. Evaluación y Análisis financiero para la producción de Tilapia, en el municipio de Masagua, Escuintla. Tesis. Universidad de San Carlos De Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_3491.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3491.pdf)
- Baca Urbina, Gabriel. 2010. Evaluación de Proyectos. México. 6ta Edición. Mc Graw Hill. pp 263-318
- Badillo, L., Segovia, M., y Searcy Berna, R. 2007. Effect of two stocking densities on the growth and mortality of the pink abalone *Haliotis corrugata* in recirculating and flow through systems. *Journal of Shellfish Research*, 26(3), 801b807. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[801:EOTSDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[801:EOTSDO]2.0.CO;2)
- Boch, C. A., Micheli, F., AlNajjar, M., Monismith, S. G., Beers, J. M., Bonilla, J. C., Espinoza, A. M., Vazquez-Vera, L. y Woodson, C. B. 2018. Local oceanographic variability influences the performance of juvenile abalone under climate change. *Scientific reports*, 8(1), 5501. <https://doi:10.1038/s41598-018-23746-z>
- Bolleter, W. T., Bushman, C. J., y Tidwell, P. W. 1961. Spectrophotometric determination of ammonia as indophenol. *Analytical Chemistry*, 33(4), 592-594. <https://doi.org/10.1021/ac60172a034>
- Braid, B. A., Moore, J. D., Robbins, T. T., Hedrick, R. P., Tjeerdema, R. S., y Friedman, C. S. 2005. Health and survival of red abalone, *Haliotis rufescens*, under varying temperature, food supply, and exposure to the

- agent of withering syndrome. *Journal of Invertebrate Pathology*, 89(3), 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.06.004>
- Capinpin Jr, E. C., Toledo, J. D., Encena II, V. C., y Doi, M. 1999. Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture. *Aquaculture*, 171(3-4), 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00490-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00490-6)
- Cook, P. A., y Gordon, H. R. 2010. World abalone supply, markets, and pricing. *Journal of Shellfish Research*, 29 (3), 569-572. <https://doi.org/10.2983/035.029.0303>
- Correa-Reyes, J. G, Sánchez-Saavedra MP, Viana MT, Flores-Acevedo N, y Vásquez-Peláez C. 2009. Effect of eight benthic diatoms as feed on the growth of red abalone post-larvae (*Haliotis rufescens*). *Journal of Applied Phycology*. 21:387-393 <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9381-x>
- Correa-Reyes, J. G. 2001. Selección de especies de diatomeas bentónicas para el cultivo del abulón. Tesis Doctoral. Posgrado en Ciencias. Departamento de Acuicultura. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California México. pp.135.
- Chen, S. (1993). Production, characteristics, and modeling of aquaculture sludge from a recirculating aquaculture system using a granular media biofilter. *Techniques for modern aquaculture*, 16-25. Chen G, Bannister P, Jayatissa W, Carrington CG, y Bartlett RJ. 1999. Benchmarking energy use in land-based abalone farming. New Zealand Abalone Farmer's Association Annual Conference, 1999.
- Davis, C. P., y Carrington, C. G. (2005). An efficient water conditioning system for land-based abalone aquaculture. *International journal of energy research*, 29(3), 265-282. [sci-hub.tw/10.1002/er.1053](http://sci-hub.tw/10.1002/er.1053)
- Díaz, F., Re, A. D., Medina, Z., Re, G., Valdez, G., y Valenzuela, F. 2006. Thermal preference and tolerance of green abalone *Haliotis fulgens* (Philippi, 1845) and pink abalone *Haliotis corrugata* (Gray, 1828). *Aquaculture Research*, 37(9), 877-884. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01506.x>
- Dlaza, T. S. 2006. Growth of juvenile abalone under aquaculture conditions. Tesis Doctoral. University of the Western Cape). Pp 46-59. [http://etd.uwc.ac.za/xmlui/bitstream/handle/11394/156/Dlaza\\_MSC\\_2006?sequence=1&isAllowed=y](http://etd.uwc.ac.za/xmlui/bitstream/handle/11394/156/Dlaza_MSC_2006?sequence=1&isAllowed=y)

- Ebert, E. E., y Houk, J. L. 1984. Elements and innovations in the cultivation of red abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture*, 39:(1-4), 375-392. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90279-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90279-5)
- Enríquez, R., y Villagrán, R. 2008. Chile's experience with developing abalone (*Haliotis spp*). Farming: opportunities and Challenges. *Revue scientifique et technique* (International Office of Epizootics), 27:(1), 103-112. <https://europepmc.org/abstract/med/18666482>
- Evans, F., & Langdon, C. J. 2000. Co-culture of dulse *Palmaria mollis* and red abalone *Haliotis rufescens* under limited flow conditions. *Aquaculture*, 185:(1-2), 137-158. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00342-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00342-7)
- FAO. 2017. <http://www.fao.org/in-action/globefish/marketreports/resource-detail/es/c/903190/>
- FAO. 2019. Global aquaculture production. Disponible en: <http://www.Fao.Org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). 2012. Manual del Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos Productivos II. Villadiego, Guanajuato, México. 170 p.
- Flores-Aguilar, R., Gutiérrez A., Ellwanger A. y Searcy-Bernal, R. 2007. Development and present status of abalone aquaculture in Chile. *Journal of Shellfish Research* 26(3):705-711. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[705:DACSOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[705:DACSOA]2.0.CO;2)
- Freeman Kylie, A. 2001. Aquaculture and related biological attributes of abalone species in Australia. A Review. *Fisheries Western Australia* 128. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015028620>
- Gallardo, W. G., y Salayo, N. D. 2003. Abalone culture: a new business opportunity. *SEAFDEC Asian Aquaculture*, 25(3), 1-25. <http://hdl.handle.net/10862/1628>
- Geiger, D.L. y Owen, B. 2012. Abalone: world-wide Haliotidae. *ConchBooks*. pp 52-53.
- Gonzalez- Aragon, 2017. Estandarización de protocolos para la obtención de híbridos de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) con abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) y abulón azul (*Haliotis fulgens guadalupensis*). Tesis de

Maestría. CICESE. pp  
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1305>

- González-Elías, J. M., Arreguín S. M., y Ramírez A. O. 2016. Evaluación financiera de la producción trucha arco iris (*Oncorhynchus Mykiss*): Análisis del agronegocio SPR de RL "Pucuate". Handbook T-I. ECORFAN. pp 20-32.  
[https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbook\\_Produccion\\_Comercializacion\\_y\\_Medio\\_Ambiente\\_T1V1/Particiones/3.pdf](https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbook_Produccion_Comercializacion_y_Medio_Ambiente_T1V1/Particiones/3.pdf)
- Gorrostieta-Hurtado, E., Searcy-Bernal, R., Anguiano-Beltrán, C., García-Esquivel, Z., y Valenzuela-Espinoza, E. 2009. Effect of darkness on the early post-larval development of *Haliotis corrugata* abalone fed different diatom densities. *Ciencias Marinas*, 35(1), 113-122.  
<https://doi.org/10.7773/cm.v35i1.1446>
- Guzmán, J. M., y Viana, M. T. 1998. Growth of abalone *Haliotis fulgens* fed diets with and without fish meal, compared to a commercial diet. *Aquaculture*, 165(3-4), 321-331. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00271-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00271-3)
- Hahn K 1989. Nutrition and growth of abalone. En Hahn K (Ed.) Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gastropods. CRC Press. Boca Ratón, FL, EEUU. pp.135-156.
- Harris J. O., Maguire B., Edwards S. J., y Hindrum S. M. 2001. Effect of pH on two Australian abalone species. *Environmental requirements of abalone*. En Burke, C. M., Harris, J. O., Hindrum, S. M., Edwards, S. J., y Maguire, G. B. (2001). Environmental requirements of abalone. *FRDC Project*, (97/323School). pp10b32. Disponible en: [http://www.imas.utas.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/743065/EnvironmentalRequirementsofAbalone.pdf](http://www.imas.utas.edu.au/__data/assets/pdf_file/0007/743065/EnvironmentalRequirementsofAbalone.pdf)
- Heasman M, y Savva Nick. 2007. Manual For Intensive Hatchery Production Of Abalone. Induction of spawning and fertilization of eggs. NSW Department of Primary industries. Pp. 23-48.  
[https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/638563/Manual-for-intensive-hatchery-production-of-abalone-section2.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/638563/Manual-for-intensive-hatchery-production-of-abalone-section2.pdf)
- Hernandez Barraza, C. A., Aguirre Guzman, G., y Lopez Cantu, D. G. 2009. Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 1325(1345-2016-104263), 117-130. ISSN – 1405 – 9282

- Hernández-López, J., y Vargas-Albores, F. 2003. A microplate technique to quantify nutrients ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ) in seawater. *Aquaculture Research*, 34(13), 1201-1204. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00928.x>
- Hernández, J., Uriarte, I., Viana, M. T., Westermeier, R., y Farías, A. (2009). Growth performance of weaning red abalone (*Haliotis rufescens*) fed with *Macrocystis pyrifera* plantlets and *Porphyra columbina* compared with a formulated diet. *Aquaculture research*, 40(15), 1694-1702. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02267.x>
- Hindrum, S. M., Burke, C. M., Edwards, S. J., y Johns, D. R. 2000. Growth reductions in greenlip (*Haliotis laevis*) and blacklip (*Haliotis rubra*) abalone resulting from chronic exposure to sublethal combinations of elevated ammonia and low dissolved oxygen levels. In *Fourth International Abalone Symposium: Biology, Culture, Fisheries* (p. 29). [https://www.researchgate.net/publication/283017440\\_Effects\\_of\\_chronic\\_exposure\\_of\\_greenlip\\_abalone\\_Haliotis\\_laevis\\_Donovan\\_to\\_high\\_ammonia\\_nitrite\\_and\\_low\\_dissolved\\_oxygen\\_concentrations\\_on\\_gill\\_and\\_kidney\\_structure](https://www.researchgate.net/publication/283017440_Effects_of_chronic_exposure_of_greenlip_abalone_Haliotis_laevis_Donovan_to_high_ammonia_nitrite_and_low_dissolved_oxygen_concentrations_on_gill_and_kidney_structure)
- Huchette S. M. H, Koh C. S., y Day R. W. 2003. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aqua-culture tanks: effects of density and ammonia. *Aquaculture* 219:457–470 [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00627-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00627-0)
- Insull D. y Nash C. E. 1999. La formulación de proyectos de acuicultura. FAO Documento técnico de pesca. <http://www.fao.org/3/T0403S/T0403S00.htm#TOC>
- Jaimés, M. B., Rebollar-Rebollar, S., de Jesús González-Razo, F., Hernández-Martínez, J., y Gómez-Tenorio, G. (2015). Viabilidad económica para la producción y venta de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en amatepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 37, 147-158.
- Jayatissa, W., Davis, C., Carrington, G., y Chen, G. (2002). *Energy use in controlled temperature marine aquaculture. International Journal of Energy Research*, 26(15), 1333–1343. doi:10.1002/er.851
- Kim, T. W., Barry, J. P., y Micheli, F. 2013. The effects of intermittent exposure to low-pH and low-oxygen conditions on survival and growth of juvenile red abalone. *Biogeosciences*, 10(11), 7255-7262. <https://doi.org/10.5194/bg-10-7255-2013>

- Lafarga De la Cruz, F. 2010. Producción y caracterización de híbridos interespecíficos de abalón rojo (*Haliotis rufescens*) y abalón Japonés (*H. discus hannai*). Tesis Doctoral. Universidad de Chile. Universidad Católica de Valparaíso.13b82.
- Lazur, A. y Deborah, C.1997. Pond Recirculating Production Systems, SRAC Publication No. 455, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Re-search, Education and Extension Service, EUA. [http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac\\_455\\_pond\\_recirculating\\_production\\_systems\\_0.pdf](http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_455_pond_recirculating_production_systems_0.pdf)
- Lefevre, N., Ciabrini, J. P., Michard, G., Brient, B., DuChaffaut, M., y Merlivat, L. 1993. A new optical sensor for pCO<sub>2</sub> measurements in seawater. *Marine Chemistry*, 42(3-4), 189-198. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(93\)90011-C](https://doi.org/10.1016/0304-4203(93)90011-C)
- Leighton, D. L. 2000. *The biology and culture of the California abalones*. Dorrance Publishing Company. pp 20-128
- Leighton, P. 2008. Abalone Hatchery Manual. *Aquaculture Technical Section, Aquaculture Development Division. Co. Dublin, Ireland, 95*. Disponible en: [http://www.bim.ie/media/bim/content/publications/bimno\\_25\\_Abalone\\_Hatchery\\_Manual\\_2008 .pdf](http://www.bim.ie/media/bim/content/publications/bimno_25_Abalone_Hatchery_Manual_2008.pdf).
- López, L. M., Tyler, P. A., y Viana, M. T. (1998). The effect of temperature and artificial diets on growth rates of juvenile *Haliotis tuberculata* (Linnaeus, 1758). *Journal of Shellfish Research*, 17, 657-662. [https://www.researchgate.net/publication/236222880\\_The\\_effect\\_of\\_temperature\\_and\\_artificial\\_diets\\_on\\_growth\\_rates\\_of\\_juvenile\\_Haliotis\\_tuberculata\\_Linnaeus\\_1758](https://www.researchgate.net/publication/236222880_The_effect_of_temperature_and_artificial_diets_on_growth_rates_of_juvenile_Haliotis_tuberculata_Linnaeus_1758)
- Losordo, T. M., Masser, M. P., y Rakocy, J. 1998. Recirculating aquaculture tank production systems. *Overview of Critical Considerations. SRAC Publication*, 451. [https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac\\_451\\_recirculating\\_aquaculture\\_tank\\_production\\_systems\\_an\\_overview\\_of\\_critical\\_considerations.pdf](https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_451_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_an_overview_of_critical_considerations.pdf)
- Maeda-Martínez, A. 1995. Desarrollo científico y tecnológico del cultivo del abulón. *Secretaría de Pesca. Dirección General de Acuicultura*. [http://www.sidalc.net/cgiH bin/wxis.exe/?IsisScript=SUV.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000776](http://www.sidalc.net/cgiH/bin/wxis.exe/?IsisScript=SUV.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000776)

- Marcilo-Morla F. 1999. Evaluación de proyectos acuícolas: Aspectos económicos y financieros. Centro de educación continua efferson College. Pp. 31-41  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8855/3/ManualPr oy.pdf>
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., d'Orbcastel E. R., y Verreth, J. A. J. 2010. *New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93. doi:10.1016/j.aquaeng.2010.09.002
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Schneider, O., Rasmussen, R., Olesen, B., Plesner, L., y Ver- reth, J.A.J., 2005. Recirculation aquaculture systems in Europe. CONSENSUS. Oostende, Belgium, Consensus Working Group. Eur. Aquacult. Soc., pp 31.
- Meza-Tabares, S.O. 2012. Alimentación intensiva de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en tres densidades de cultivo. Tesis. Universidad Autónoma de Baja California. pp 32-83.
- Miranda-Saucedo, C.M. (2011). Crecimiento y supervivencia de poslarvas de abulón (*Haliotis rufescens*) alimentadas con dietas mono-específicas de diatomeas bentónicas conservadas en frío. pp 32-53  
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/110>
- Morash, A. J., y Alter, K. 2015. Effects of environmental and farm stress on abalone physiology: perspectives for abalone aquaculture in the face of global climate change. *Reviews in Aquaculture*. DOI:10.1111/raq.12097
- Morse, D. E., Duncan, H., Hooker, N., y Morse, A. 1977. Hydrogen peroxide induces spawning in mollusks, with activation of prostaglandin endoperoxide synthetase. *Science*, 196(4287), 298-300. DOI: 10.1126/science.403609
- Naylor, M. A., Kaiser, H., y Jones, C. L. W. 2014. The effect of free ammonia nitrogen, pH and supplementation with oxygen on the growth of South African abalone, *Haliotis midae* L. in an abalone serial-use raceway with three passes. *Aquaculture Research*, 45(2), 213-224.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03217.x>
- Owen, B., McLean J. y R. Meyer 1971. Hybridization in the Eastern Pacific abalones (*Haliotis*). *Bulletin of the Los Angeles Country Museum of Natural History Science* 9:1-37.

[https://books.google.com.mx/books/about/Hybridization\\_in\\_the\\_Eastern\\_Pacific\\_Aba.html?id=x\\_UAJAQAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/Hybridization_in_the_Eastern_Pacific_Aba.html?id=x_UAJAQAAMAAJ&redir_esc=y).

- Park, J., Kim, H. B., Kim, P. K., y Jo, J. Y. (2008). The growth of disk abalone, *Haliotis discus hannai* at different culture densities in a pilot-scale recirculating aquaculture system with a baffled culture tank. *Aquacultural engineering*, 38(3), 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.02.001>
- Park, J., Kim, P. K., y Jo, J. Y. 2007. Growth performance of disk abalone *Haliotis discus hannai* in pilot- and commercial-scale recirculating aquaculture systems. *Aquaculture International*, 16(3), 191–202. doi:10.1007/s10499-007-9136-8
- Piedrahita, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226, 35–44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Qing, N. Z., Fang, J. M., y Ping, Y. J. 1996. Preliminary studies on increased survival and accelerated growth of overwintering juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture*, 140(1-2), 177-186. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01195-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01195-1)
- Rebollar, R. S. y M. Jaramillo. 2012. Formulación y evaluación de proyectos de inversión, Aspectos básicos. Primera Edición. Editorial Académica Española. Madrid, España. 317 p.
- Rakocy, J., Masser, M. P., & Losordo, T. (2016). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Rodríguez C., Bao G., y Cárdenas L. 2008. Formulación de evaluación de Proyectos. Primera Edición. Ed. Limusa. México, D.F. pp 450-454.
- Rosenthal, H., Castell, J.D., Chiba, K., Forster, J.R.M., Hilge, V., Hogendoorn, H., Mayo, R.D., Muir, J.F., Murray, K.R., Petit, J., Wedemeyer, G.A., Wheaton, F., y Wickins, J., 1986. Flow-through and recirculation systems. EIFAC, 100.

[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/308079/02abulon\\_rojo.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/308079/02abulon_rojo.pdf)

- SAGARPA. 2013. Carta Nacional Acuícola. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cX1MEGwyq3EJ:www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/carta-nacional-acuicola+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=safari>
- SAGARPA. 2014. Anuario estadístico de acuicultura y Pesca. Sepesca. [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/anuario\\_2013](http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/anuario_2013).
- Schuster, C. y H. Stelz, 1998. Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* 17: 167-174. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00013-2)
- Searcy-Bernal, R. 2019. Repoblamiento de bancos de abulón en México historia y status del compromiso del plan nacional del abulón). Taller de Repoblamiento. <http://sepescabc.gob.mx/x/cursosTalleresSeminarios/2019/SimposioRepoblamientoAcuicultura/09-30>
- Searcy-Bernal, R., Perez-Sánchez, E., Anguiano-Beltrán, C., y Flores-Aguilar, R. 2007. Metamorphosis and post-larval growth of abalone *haliois rufescens* in a mexican commercial hatchery. *Journal of Shellfish Research*, 26(3), 783-788. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[783:MAPGOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[783:MAPGOA]2.0.CO;2)
- Searcy-Bernal, R., Ramade-Villanueva, M. R., y Altamira, B. 2010. Current status of abalone fisheries and culture in Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 29(3), 573-577. <https://doi.org/10.2983/035.029.0304>
- Searcy-Bernal, R., y Anguiano-Beltrán, C. 1998. Optimizing the concentration of gamma-aminobutyric acid (GABA) for inducing larval metamorphosis in the red abalone *Haliotis rufescens* (Mollusca: Gastropoda). *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(4), 463-470. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00670.x>
- Searle, T., Roberts, R. D., y Lokman, P. M. 2006. Effects of temperature on growth of juvenile blackfoot abalone, *Haliotis iris* Gmelin. *Aquaculture Research*, 37(14), 1441-1449. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01580.x>
- SEPESCA, 2015. Carta Estatal Acuícola. Disponible en: <http://www.sepescabc.gob.mx/x/salaDePrensa/difusionAcciones/docs/Car>

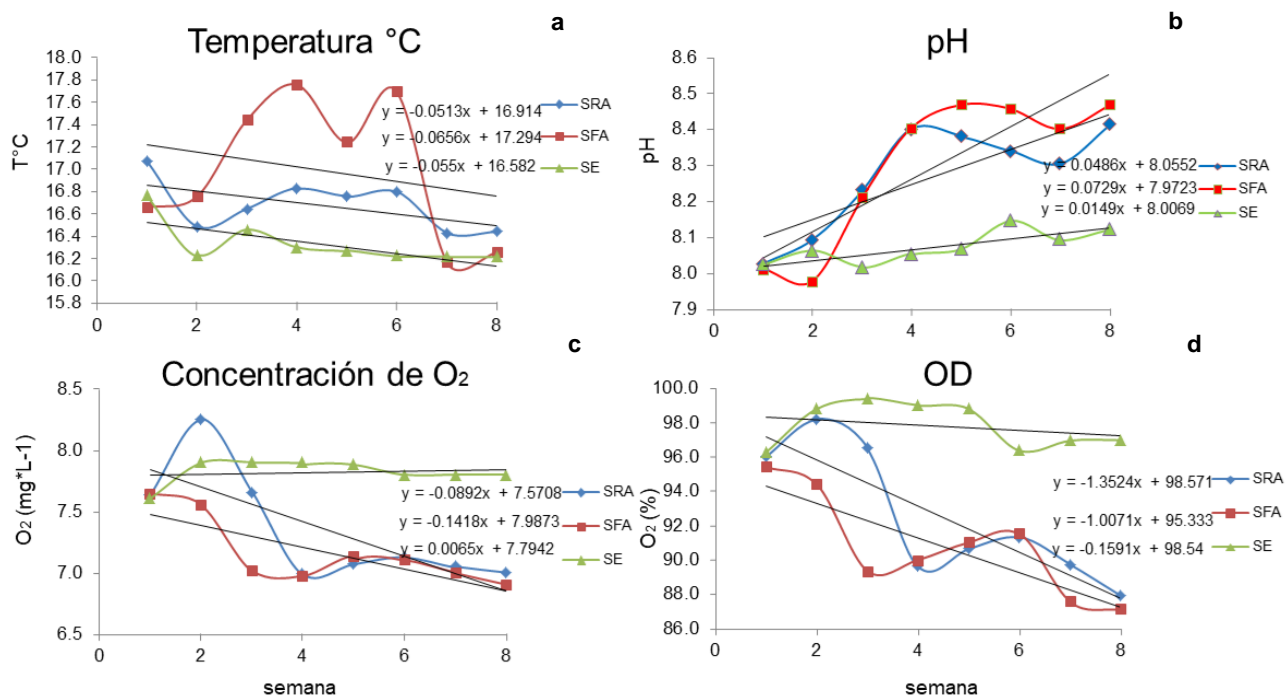
[taEstatalA!cuicola.pdf](#)

- SERNAPESCA. 2016. Anuario Estadístico de Pesca. [http://ww2.sernapesca.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2303&Itemid=889](http://ww2.sernapesca.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=2303&Itemid=889)
- Stefanini, V., y Nazario, D. 2019. Método de validación estadística del ensayo de respuesta térmica de suelo, serpentín vertical vs horizontal. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 359-371.
- Steinarsson, A., y Imsland, A. K. 2003. Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture*, 224(1-4), 353-362. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00241-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00241-2)
- Stott, A. E., Takeuchi, T., y Koike, Y. 2004. An alternative culture system for the hatchery production of abalone without using livefood. *Aquaculture*, 236(1-4), 341-360. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.008>
- Tal, Y., Schreier, H.J., Sowers, K.R., Stubblefield, J.D., Place, y A.R., Zohar, Y., 2009. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. *Aquaculture* 286, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.043>
- Taylor M, y Tsvetnenko E. 2004. A growth assessment of juvenile abalone *Haliotis laevis* fed enriched macroalgae *Ulva rigida*. *Aqua Int* 12:467–480 doi:10.1023/b:aqui.0000042138.14961.c2
- Timmons, M. y Ebeling, J. 2007, *Recirculating Aquaculture*, NRAC Publication núm. 01-007, Nueva York.
- Vélez-Arellano, N., García-Domínguez, F. A., Lluch-Cota, D. B., Gutiérrez-González, J. L., Holguin-Quiñones, O. E., y Ramírez-Rodríguez, M. 2016. Biochemical changes during the reproductive cycle of *Haliotis fulgens* (Philippi, 1845) (gastropoda: archaeogastropoda) on the Baja California Sur West Coast. *Journal of Shellfish Research*, 35(1), 199-2006. <https://doi.org/10.2983/035.035.0121>
- Venegas, A. G., Cárdenas, T. C., Aguilar, R. F., Bernal, R. S., y Ferreira, F. H. 2016. Effects of Diet and feeding regime on growth and survival of the red abalone *Haliotis rufescens* in land-based tank cultures in southern Chile. *Journal of shellfish research*, 35(4), 969-980. <https://doi.org/10.2983/035.035.0420>

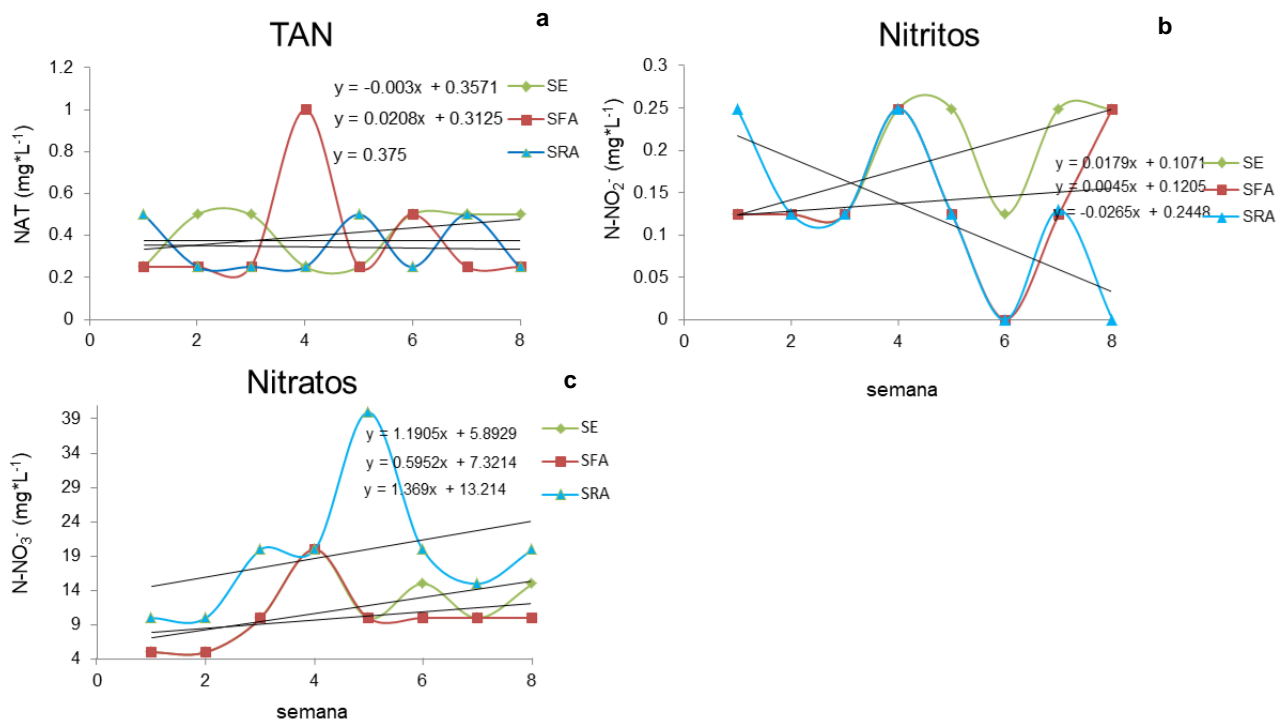
- Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H., y Verreth, J.A.J., 2006. Reducing water use for animal production through aquaculture. *Int. J. Water Resour. Dev.* 22, 101–113. <https://doi.org/10.1080/07900620500405544>
- Vinatea, L., 2002, Principios químicos de calidad del agua en acuicultura, Manual, cbs, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Vivanco-Aranda, M., Gallardo-Escárate, C. J., y del Río-Portilla, M. Á. 2011. Low-density culture of red abalone juveniles, *Haliotis rufescens* Swainson 1822, recirculating aquaculture system and flow-through system. *Aquaculture Research*, 42(2), 161–168. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02545.x
- Wassnig, M., Roberts, R. D., Krsinich, A., y Day, R. W. 2010. Effects of water flow rate on growth rate, mortality and biomass return of abalone in slab tanks. *Aquaculture research*, 41(6), 839-846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02545.x>
- Wright, J. P. 2011. pH Control in Recirculating Aquaculture Systems for Pāua (*Haliotis iris*). <http://hdl.handle.net/10063/1861>
- Wu, F., Liu, X., Zhang, G., y Wang, C. 2009. Effects of the initial size, stocking density and sorting on the growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture research*, 40(10), 1103-1110. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02205.x>
- Zohar, Y., Tal, Y., Schreier, H.J., Steven, C., Stubblefield, J., y Place, A., 2005. Commercially feasible urban recirculated aquaculture: addressing the marine sector. In: Costa-Pierce, B. (Ed.), *Urban Aquaculture*. CABI Publishing, Cambridge, MA, pp. 159–171.

## CAPITULO XI. ANEXOS

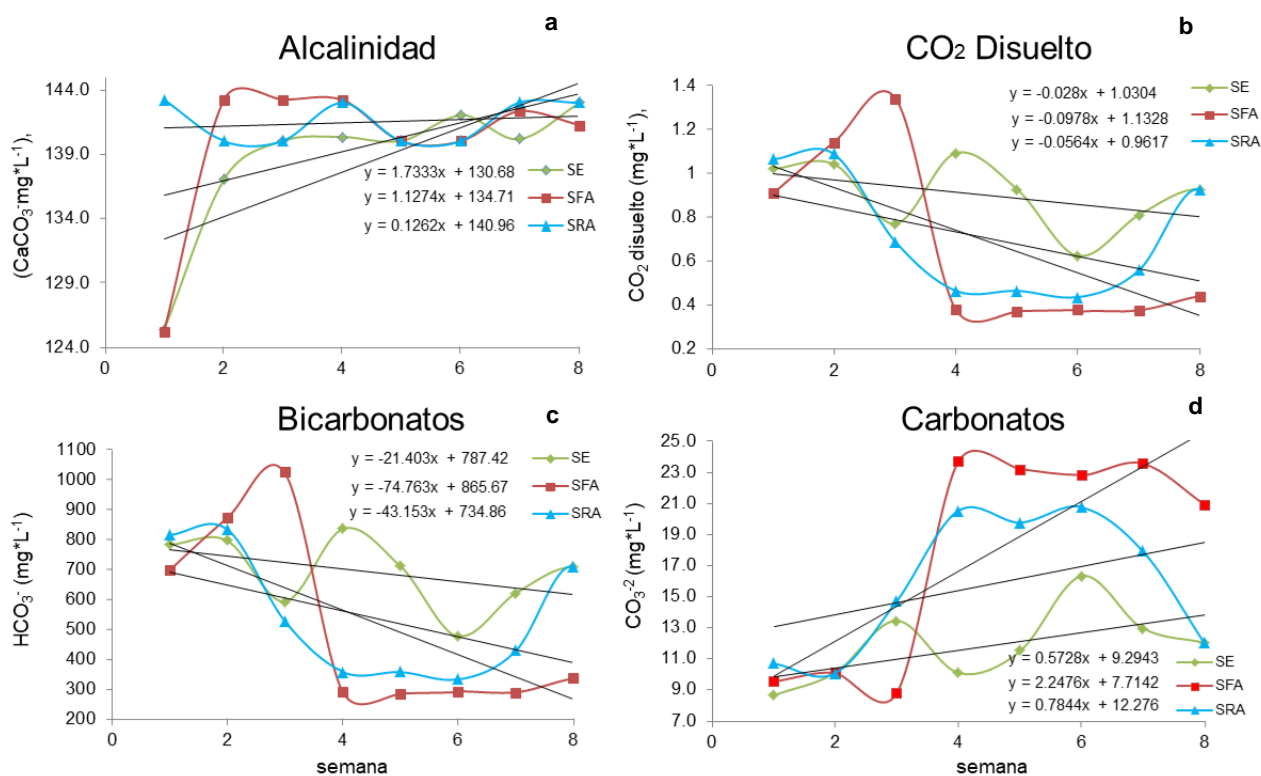
## ANEXO II



**Figura 25.** Registro semanal de: a) temperatura °C, b) pH c) Concentración de O<sub>2</sub> (mg\*L<sup>-1</sup>) y d) concentración de O<sub>2</sub> %, de los sistemas experimentales: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola) para el cultivo de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*). Cada gráfica presenta líneas de tendencia utilizadas para obtener pendientes y sus ecuaciones. En ninguno de los casos se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).



**Figura 26.** Registro semanal de: a) NAT ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), b)  $\text{N-NO}_2^-$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y c)  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), de los sistemas experimentales: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola) para el cultivo de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*). Cada gráfica presenta líneas de tendencia utilizadas para obtener pendientes y sus ecuaciones. En ninguno de los casos se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) al comparar estas variables.



**Figura 27.** Registro semanal de las variables de a)  $\text{KH}^+$  ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), b)  $\text{CO}_2$  disuelto ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), c)  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y d)  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), de los sistema experimental: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola) para el cultivo de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*). Cada gráfica presenta líneas de tendencia utilizadas para obtener pendientes y sus ecuaciones. En ninguno de los casos se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) al comparar estas variables.

## ANEXO II

Tabla IX. Valores de mediana e intervalo de supervivencia semanal de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en los sistemas experimentales: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola). Con letras “a, b o ab” se denota donde se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Sistema	Sistema Estático		Sistema de Flujo Abierto			Sistema de Recirculación Acuícola	
	Día	Mediana (%)	Rango (%)	Mediana (%)	Rango (%)	Mediana (%)	Rango (%)
0		100.0	100- 100	100.0	100- 100	100.0	100- 100
1		92.8	92.3- 93.2 <sup>a</sup>	93.0	91.6- 93.5 <sup>a</sup>	90.0	87.9- 90.9 <sup>b</sup>
2		50.6	41.3- 60.5	47.1	44.6- 50.5	45.0	42.0- 48.7
3		41.0	31.0- 50.1	35.2	32.5- 37.5	35.3	33.6- 36.8
4		27.1	16.7- 36.7 <sup>a</sup>	13.9	13.4- 14.3 <sup>b</sup>	23.6	21.5- 25.3 <sup>a</sup>
5		0.6	0.0- 0.9 <sup>a</sup>	1.6	0.6- 2.5 <sup>ab</sup>	1.6	1.2- 2.8 <sup>b</sup>
6		0.0	0.0- 0.0 <sup>a</sup>	1.3	0.5- 2.2 <sup>b</sup>	1.5	0.9- 2.6 <sup>b</sup>
7		0.0	0.0- 0.0 <sup>a</sup>	1.2	0.3- 2.0 <sup>b</sup>	1.3	0.9- 1.6 <sup>b</sup>
8		0.0	0.0- 0.0 <sup>a</sup>	0.8	0.1- 1.5 <sup>b</sup>	0.9	0.6- 1.2 <sup>b</sup>

### ANEXO III

La rentabilidad del sistema de recirculación usado en este bioensayo se comparó con los otros sistemas utilizados. Cuando la evaluación de rentabilidad se aplica a uno solo de los sistemas, estas resultan negativas en todos los casos. Sin embargo muchos componentes estaban siendo subutilizados, por lo cual, para poder realizar una evaluación, se maximizó el uso de los sistemas evaluados, realizando los cálculos con una proyección de 8 sistemas.

Los costos totales de producción de semilla de abulón rojo, fueron calculados anualmente, tomando en cuenta el número de ciclos que pueden operar cada uno de los sistemas y se realizó una proyección a 6 años de operación, como se describe en la metodología.

Tabla X. Lista de los componentes y costos unitarios de cada uno de los sistemas ensayados: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola) para el cultivo de post-larvas y juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), los costos corresponden a la infraestructura.

unidades	Infraestructura	Precio por unidad (\$)	vida útil (años)	SE	SFA	SRA
2	Bomba de agua Quiet One modelo 6000	\$ 2,661.90	5			X
2	Tanque de agua 60L	\$ 280.00	10	X	X	X
2	Enfriador de agua 1/3 HP	\$ 41,065.48	10			X
2	Aire acondicionado	\$ 8,270.00	5	X		X
2	Filtro UV marca Coralife Turbo de 9 watts	\$ 4,492.34	0.5	X	X	X

2	Lámpara repuesto de	\$	320.00	0.5			
32	Acuario de 3.5 L	\$	10.00	5	X	X	X
2	Anaqueles	\$	4,500.00	10	X	X	X
2	Drenaje	\$	200.00	10		X	X
2	Tubería de entrega de agua	\$	350.00	10		X	X
2	Tubería de aireación	\$	150.00	5	X	X	X
2	Biofiltro 8 litros	\$	500.00	10			X
3	Porta filtros de cartuchos	\$	320.00	10	X	X	X
1	Blower de 1/2 HP	\$	7,750.00	10	X	X	X
<b>Inversión total por sistemas</b>					<b>\$45,054.68</b>	<b>\$ 29,614.68</b>	<b>\$93,543.96</b>

**Tabla XI.** Lista de los principales conceptos que influyeron en los cálculos de las utilidades bruta y neta de los sistemas evaluados: SE (Sistema estático); SFA (Sistema de flujo abierto) y SRA (Sistema de recirculación acuícola) para el cultivo de post-larvas de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), con una proyección de seis periodos anuales.

SE	Concepto	Año de operaciones						
		1	2	3	4	5	6	
	Ingreso por	\$				\$	\$	
+	ventas		255,568.18	\$286,236.36	\$320,584.72	\$359,054.89	402,141.47	422,248.55
	Costo de	\$				\$	\$	
-	producción		248,137.95	\$203,723.27	\$211,424.00	\$219,415.83	227,709.75	236,317.18
=	Utilidad bruta	\$	7,430.23	\$ 82,513.09	\$109,160.72	\$139,639.05	174,431.72	185,931.37
-	Impuesto a la renta	\$	20,445.45	\$ 22,898.91	\$ 25,646.78	\$ 28,724.39	32,171.32	33,779.88
-	Otros (adeudos, etc.)	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
=	Utilidad neta	-\$	13,015.22	\$ 59,614.18	\$ 83,513.94	\$110,914.66	\$142,260.40	\$152,151.48

SFA		1	2	3	4	5	6
	Ingreso por	\$				\$	
+	ventas	174,779.71	\$241,196.00	\$332,850.48	\$459,333.67	633,880.46	\$874,755.04
	Costo de					\$	
-	producción	\$356,265.42	\$309,751.16	\$321,170.71	\$333,021.91	336,846.17	\$336,847.17
		-				\$	
=	Utilidad bruta	\$181,485.71	-\$68,555.16	\$ 11,679.78	\$126,311.76	297,034.29	\$537,907.87
	Impuesto a la	\$				\$	
-	renta	13,982.38	\$14,681.50	\$ 15,415.57	\$ 16,186.35	16,995.67	\$ 16,995.67
	Otros (adeudos,					\$	
-	etc.)	\$ -	\$195,468.08	\$278,704.74	\$282,440.53	172,315.12	\$ -
		-\$				\$	
=	Utilidad neta	<b>195,468.08</b>	<b>-\$278,704.7</b>	<b>-\$282,440.5</b>	<b>-\$172,315.1</b>	<b>107,723.50</b>	<b>\$520,912.20</b>
SRA		1	2	3	4	5	6
	Ingreso por					\$	
+	ventas	\$310,068.29	\$355,028.19	\$406,507.28	\$465,450.83	532,941.20	\$610,217.68
	Costo de					\$	
-	producción	\$353,468.85	\$259,924.89	\$269,750.05	\$279,946.60	290,528.58	\$301,510.56
		-\$				\$	
=	Utilidad bruta	43,400.56	\$ 95,103.30	\$136,757.23	\$185,504.23	242,412.62	\$308,707.12
	Impuesto a la	\$				\$	
-	renta	24,805.46	\$ 28,402.26	\$ 32,520.58	\$ 37,236.07	42,635.30	\$ 48,817.41
	Otros (adeudos,	\$				\$	
-	etc.)	68,206.02	\$ 68,206.02	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
		-\$				\$	
=	Utilidad neta	<b>68,206.02</b>	<b>-\$ 1,504.97</b>	<b>\$104,236.65</b>	<b>\$148,268.17</b>	<b>\$199,777.33</b>	<b>\$ 259,889.70</b>