

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN ACUICULTURA**

**EFFECTO DE DOS DENSIDADES DE CULTIVO EN EL CRECIMIENTO DEL
ABULON AMARILLO (*Haliotis corrugata*) EN UN SISTEMA CERRADO**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

LETICIA MARIA BADILLO SOTELO

Ensenada, Baja California, México, Octubre del 2005.

TESIS DEFENDIDA POR

Leticia Maria Badillo Sotelo

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Manuel Segovia Quintero

Director del Comité

**Dr. M. del Pilar Sánchez
Saavedra**

Miembro del Comité

**M. en C. Josefina Rodríguez
Jacobo**

Miembro del Comité

Dr. Ricardo Searcy Bernal

Miembro del Comité

**Dr. Facundo Joaquín Márquez
Rocha**

*Coordinador del programa de
posgrado en Biotecnología y*

Acuicultura

**Dr. Raúl Ramón Castro
Escamilla**

Director de Estudios de Posgrado

25 de Octubre de 2005

RESUMEN de la tesis de **Leticia Maria Badillo Sotelo**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS con orientación en ACUICULTURA. Ensenada, Baja California. Octubre del 2005.

EFFECTO DE DOS DENSIDADES DE CULTIVO EN EL CRECIMIENTO DEL ABULON AMARILLO (*Haliotis corrugata*) EN UN SISTEMA CERRADO.

Resumen aprobado por:

Dr. Manuel Alberto Segovia Quintero
Director de Tesis

El abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) por sus características de tipo de carne y concha posee un alto valor de mercado. El cultivo de engorda tradicional de esta especie se lleva a cabo en tanques con flujo continuo, con tasas de recambio de 200 hasta 2,400%. Estos altos volúmenes de agua representan una limitante para el crecimiento de esta industria por lo que el cultivo en sistema cerrado representa una alternativa, ya que consiste en el reúso y tratamiento de agua, donde el volumen de recambio diario es menor o igual al 10% del volumen total. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos densidades de cultivo: 10% de cobertura de placa (D1) y 30% de cobertura de placa (D2) en el crecimiento y sobrevivencia del abulón amarillo *H. corrugata* en un sistema cerrado. Se utilizaron 2,400 abulones juveniles (7.11 ± 2.0 g y 37.01 ± 3.4 mm). Se utilizaron tres sistemas de cultivo: un sistema de flujo abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3). El experimento tuvo una duración de 127 días, y durante este periodo para evaluar el crecimiento de los abulones se realizaron 5 biometrías (0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo). Las condiciones fisicoquímicas que mas favorecieron la sobrevivencia y la tasa de crecimiento del abulón *H. corrugata* fueron: 18 - 20 °C, 32 - 35 ‰, > 100 mg de CaCO₃/L, <0.2 mg NAT/L y < 0.2 mg NO₂/L. La densidad de cultivo no afecto la tasa de crecimiento en peso y talla promedio que fue de 0.017 g/día y 0.024 mm/día en 10% de cobertura de placa y 0.012 g/día y 0.025 mm/día en 30 % de cobertura de placa. El sistema abierto fue significativamente mejor en tasa de crecimiento en peso y talla total ($p = 0.0000$) que el sistema cerrado. La tasa de crecimiento total en peso fue para S1, 0.023 g/día, S2, 0.006 g/día, y S3, 0.008 g/día. La tasa total de crecimiento en talla fue para S1 (0.034 mm/día), S2 (0.013 mm/día) y S3 (0.017 mm/día). La densidad de cultivo no afecto la sobrevivencia total que fue de 84.78 % en D1 y 82.83 % en D2. La sobrevivencia total por sistema de cultivo fue en S1 (89.75 %), S2 (84.13 %) y S3 (71.7 %). En los estudios de esta especie se concluye que la calidad de agua y la densidad de cultivo tienen un efecto directo en la tasa de crecimiento del abulón amarillo.

Palabras clave: abulón, *Haliotis corrugata*, sistema cerrado, densidad de cultivo.

ABSTRACT of the thesis presented by **Leticia Maria Badillo Sotelo** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree with orientation in Acuicultura. Ensenada, Baja California, Mexico. October 2005.

EFFECT OF TWO DENSITIES IN A CLOSED AND OPEN RECIRCULATING SYSTEM IN THE GROWTH OF THE YELLOW ABALONE (*Haliotis corrugata*).

The yellow abalone (*Haliotis corrugata*) possessed a high market value worldwide due to their meat and shell characteristics. The traditional abalone culture is carried out in flow through tanks with water flow rates that ranges between 200 to 2,400%. These high volumes of water associated with the abalone culture represent a constraint for the growth of this industry, and recirculating systems can become a viable alternative, since the water exchange rates for these systems are less than 10% of the total volume. An experiment was conducted to study the effect of two densities: 10% of cover of plate (D1) and 30% of cover of plate (D2) on growth and survival of the yellow abalone *H. corrugata*. Juvenile abalones (7.11 ± 2.0 g y 37.01 ± 3.4 mm) were stocked in three culture systems, one flow through system (S1) and two recirculating systems (S2 and S3). The experiment lasted for 127 days, abalones were weighted and measured at 0, 46, 67, 86 and 127 days of culture. The best growth rate and survival was observed when water quality was within these parameter: 18-20°C, 32-35‰, > 100 mg de CaCO₃/L, <0.2 mg NAT/L and < 0.2 mg NO₂/L. Weight and length growth rate was not affected by density, 0.017 g/day and 0.024 mm/day at 10% of area coverage and 0.012 g/day and 0.025 mm/day at 30% area coverage, respectively. Growth rate was significantly higher in the flow through system than the recirculating systems ($p = 0.0000$). The total growth rate in weight for S1 was, 0.023 g/day, S2, 0.006 g/day, and S3, 0.008 g/day. The total growth rate in length for S1 was 0.034 mm/day, S2, 0.013 mm/day, and S3, 0.017 mm/day. The density did not affect the total survival, which was 84.78% for D1 and 82.83% for D2. The total survival by system was for S1, 89.75%, S2, 84.13%, and S3, 71.7%. Results from this study indicate that water quality and density have an effect in the yellow abalone growth rate.

Words key: abalone, *Haliotis corrugata*, recirculating systems, culture density.

DEDICATORIA

A Dios, por la abundancia que me ha dado.

A mis hijos, Carolina, Paúl, Lorena y Marisol, por iluminar mi camino, por ser el motivo que me inspira a seguir y sobre todo por escogerme en esta vida. “Los amo por siempre”.

A mi esposo, Enrique, por ser mi compañero incondicional, por ser parte de mi vida, por compartir nuestros sueños.

A mis padres, Fco. Javier Badillo Ugalde y Alda Bolena Sotelo Oros. A ti “Javercito”, por tu ejemplo de vida y de perseverancia, por inyectarme este sueño, por tu abrazo que nunca olvidaré. A ti mamá, por ser como eres, por estar siempre dispuesta a darme ayuda y por conocerme desde siempre.

A mis hermanos, Ikka, Samy, Chavo y complementariamente Wiro, por estar unidos a pesar de las circunstancias.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Dr. Manuel Alberto Segovia Quintero, por su tiempo, dedicación, por compartir sus conocimientos, y sobre todo escucharme en momentos difíciles.

A la empresa “BC Abalone S. A. de C.V.”, por los organismos necesarios para la elaboración de este trabajo.

A Stephen Walter, que a pesar de tiempos críticos se acordó de mi petición.

A la empresa “Productores Marinos Baja S.A. de C.V.” por los organismos y la información que se utilizaron en la realización de este trabajo.

A Carolina, Paúl, Lorena y Marisol, por ser pacientes y comprenderme siempre, por hacerme sentir “muy especial” con sus cuentos, sus dibujos y sobre todo con su mirada.

A Paty y Norberto Flores, por su ayuda incondicional, por compartir su almuerzo y por hacer amenas las jornadas de tejido.

A Dra. Pilar Sánchez Saavedra, por su atención y paciencia, así como los consejos para la realización de este trabajo.

A Dr. Ricardo Searcy Bernal, por aceptar colaborar en este proyecto y por sus sugerencias para enriquecerlo.

A M. en C. Josefina Rodríguez Jacobo, por su apoyo, ánimo y buena disposición para la realización de este trabajo.

A Raquel, Ruth y Ricardo por su amistad, y por ayudarme incondicionalmente.

A Dra. Beatriz Cordero, por su comprensión y cooperación en todo momento.

A mis compañeros de clase con los que compartí tareas, lecturas, estudio, aprendizaje y sobre todo, buenos momentos.

A todos mis maestros a lo largo de la maestría, por su empeño en transmitir sus conocimientos y por brindarme tiempo extra cuando lo solicité.

Al Francisco Valenzuela, por su ayuda en la realización de la imagen del sistema cerrado incluida en este trabajo.

A las secretarias, Cecilia Loera Quiñónez, María Elena Corona y Bibiana Medina Sánchez por su disposición y paciencia.

Al CONACYT, por el apoyo económico otorgado a través de una beca durante la realización de este trabajo.

Al Departamento Interno de Acuicultura por la extensión de beca para la terminación de este proyecto.

CONTENIDO

Página

I.- INTRODUCCION	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes	5
II.- OBJETIVOS	10
Objetivo general.	10
Objetivos específicos.....	10
III.- MATERIALES Y METODOS.	11
3.1 Obtención de organismos	11
3.2 Sistemas de cultivo.....	11
Sistema abierto.....	11
Sistema cerrado.....	12
3.3 Calidad de agua	14
3.4 Alimentación	15
3.5 Diseño experimental	15
3.6 Análisis de datos.	17
IV.- RESULTADOS	19
4.1 Parámetros fisicoquímicos en sistemas de Cultivo	19
Salinidad	19
Temperatura.	21
Nitrógeno amoniacal total (NAT).	23
Nitritos (NO ₂)	25
Alcalinidad	27
Tasa de recambio de agua	29
4.2 Mediciones de peso entre densidades	29
4.3 Mediciones de peso entre sistemas.	31
4.4 Comparaciones de pesos entre densidades y sistemas	31
4.5 Mediciones de talla entre densidades.....	31
4.6 Mediciones de talla entre sistemas	34
4.7 Comparaciones de talla entre densidades y sistemas.....	34
4.8 Tasa de crecimiento entre densidades.....	38
Peso	38
Talla.....	38
4.9 Tasa de crecimiento entre sistemas.	38
Peso	38
Talla.....	38
4.10 Comparaciones de tasa de crecimiento entre densidades y sistemas	43
Peso	43

CONTENIDO (continuación)

Página

Talla.	43
4.11 Tasa de crecimiento total entre densidades	44
4.12 Tasa de crecimiento total entre sistemas.....	44
4.13 Comparaciones de tasa de crecimiento total entre densidades y sistemas.....	49
4.14 Mortalidad entre densidades	49
4.15 Mortalidad entre sistemas	50
4.16 Comparaciones de mortalidad entre densidades y sistemas	50
4.17 Mortalidad total.	53
V.- DISCUSION.....	58
5.1 Parámetros fisicoquímicos en sistemas de Cultivo	58
Salinidad	58
Temperatura.....	59
Nitrógeno amoniacal total (NAT)	60
Nitritos (NO ₂)	60
Alcalinidad	61
Tasa de recambio de agua	62
5.2 Peso y talla entre densidades	63
5.3 Peso y talla entre sistemas.....	63
5.4 Tasa de crecimiento entre densidades.....	64
5.5 Tasa de crecimiento entre sistemas.	65
5.6 Mortalidad entre densidades	68
5.7 Mortalidad entre sistemas	68
5.8 Tasa de recambio de agua	70
VI.- CONCLUSIONES	71
VII.- RECOMENDACIONES	73
VIII.- BIBLIOGRAFIA	74
ANEXO	83

LISTA DE FIGURAS

Figura

Página

1	Esquema de un biofiltro con esferas de polietileno de baja densidad (bed filter) (Malone <i>et al.</i> , 1996)-----	8
2	Diagrama de cada sistema cerrado utilizado para el cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>)	13
3	Presentación esquemática de la distribución aleatoria de las densidades de cultivo de abulón (10% y 30% de cobertura de placa) en 6 tanques (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) del sistema abierto (S1) y 6 tanques (T1, T2, T3, T5, T7 y T8) del sistema cerrado (S2 y S3).	16
4	Concentraciones de salinidad (g/L) registradas en tres sistemas de cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>). Sistema abierto (S1) y Sistemas cerrado (S2 y S3) durante 127 días.	20
5	Temperaturas (°C) registradas en tres sistemas de cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>). Sistema abierto (S1) y Sistemas cerrado (S2 y S3) durante 127 días.	22
6	Concentraciones de NAT (mg/L) registradas en tres sistemas de cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>). Sistema abierto (S1) y Sistemas cerrado (S2 y S3) durante 127 días.	24
7	Concentraciones de nitritos (NO ₂) (mg/L) registradas en tres sistemas de cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>). Sistema abierto (S1) y Sistemas cerrado (S2 y S3) durante 127 días.	26
8	Concentraciones de alcalinidad (mg de CaCO ₃ /L) registradas en tres sistemas de cultivo de abulón (<i>H. corrugata</i>). Sistema abierto (S1) y Sistemas cerrado (S2 y S3) durante 127 días.	28
9	Peso promedio del abulón (<i>H. corrugata</i>) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) evaluados a 0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre las densidades en una prueba <i>a posteriori</i> Tukey con nivel de significancia de 0.05.	30

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura

Página

- 10 Peso promedio del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) evaluados a 0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 32
- 11 Talla promedio del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) evaluados a 0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre las densidades en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 35
- 12 Talla promedio del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1(sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) evaluados a 0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 36
- 13 Tasa de crecimiento en peso diario (g/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) evaluados a los 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. La letra a es para señalar que no existieron diferencias significativas entre las densidades..... 39
- 14 Tasa de crecimiento en talla diaria (mm/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) evaluados a los 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. La letra a es para señalar que no existieron diferencias significativas entre las densidades 40
- 15 Tasa de crecimiento en peso diario (g/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) evaluados a los 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 41

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura

Página

- 16 Tasa de crecimiento en talla diaria (mm/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) evaluados a los 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. La letra a es para señalar que no existieron diferencias significativas entre los sistemas 42
- 17 Tasa de crecimiento en peso diario (g/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) a los 127 días de cultivo total. La letra a es para señalar que no existieron diferencias significativas entre las densidades..... 45
- 18 Tasa de crecimiento en talla diaria (mm/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) a los 127 días de cultivo total. La letra a es para señalar que no existieron diferencias significativas entre las densidades 46
- 19 Tasa de crecimiento en peso diario (g/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1(sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) a los 127 días de cultivo total. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba a posteriori Tukey con nivel de significancia de 0.05. 47
- 20 Tasa de crecimiento en talla diaria (mm/día) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) a los 127 días de cultivo total. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba a posteriori Tukey con nivel de significancia de 0.05. 48
- 21 Mortalidad promedio (numero de abulones/canasta) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) evaluados a los 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre las densidades en una prueba a posteriori Tukey con nivel de significancia de 0.05. 51

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura

Página

- 22 Mortalidad promedio (numero de abulones/canasta) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1(sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) a los 127 días de cultivo total. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre los sistemas en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 52
- 23 Mortalidad total (%) del abulón (*H. corrugata*) mantenido a dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) a los 127 días de cultivo..... 54
- 24 Mortalidad total (%) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas de cultivo S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) a los 127 días de cultivo.55
- 25 Mortalidad promedio total (abulones/canasta) del abulón (*H. corrugata*) mantenido en tres sistemas S1(sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado) y dos densidades de cultivo D1 y D2 (10% y 30% de cobertura de placa respectivamente) a los 127 días de cultivo total. Las letras a>b son para señalar diferencias significativas entre sistemas y densidades en una prueba *a posteriori* Tukey con nivel de significancia de 0.05. 57

LISTA DE TABLAS

Tabla

Página

I	Número de biometría, fecha de realización y cantidad de días transcurridos entre cada fecha de medición en los cultivos de abulón	17
II	Salinidad promedio y desviación estándar (g/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.....	19
III	Temperaturas promedio y desviación estándar (⁰ C) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x>y) indican diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema	21
IV	Nitrógeno amoniacal total promedio y desviación estándar (mg/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndice (a) indica que no existió diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema	23
V	Nitritos promedio y desviación estándar (mg/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndices (x>y) indican diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema	25
VI	Alcalinidad promedio y desviación estándar (mg/L de CaCO ₃) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndice (a) indica que no existió diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema	27
VII	Tasa de recambio de agua diaria en porcentaje en los tres sistemas de cultivo de abulón durante los cuatro periodos de cultivo (0- 46, 47 -67, 68 – 86 y 87 – 127 días de cultivo).	29

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla

Página

VIII	Pesos promedios y desviación estándar (g) de abulones (<i>H. corrugata</i>) cultivados en tres sistemas: S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado); y dos densidades D1 y D2 (10 % y 30 % de cobertura de placa) respectivamente. Medias en las columnas con superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre sistemas y densidades.	33
IX	Tallas promedio y desviación estándar (mm) de abulones (<i>H. corrugata</i>) cultivados en tres sistemas: S1 (sistema abierto), S2 y S3 (sistema cerrado); y dos densidades D1 y D2 (10 % y 30 % de cobertura de placa) respectivamente. Medias en las columnas con superíndices (a>b>c) indican diferencias significativas entre sistemas y densidades.	37
X	Tasa de crecimiento en peso por día promedio y desviación estándar (g/día) entre densidades y sistemas por periodos de cultivo (0 – 46, 47 – 67, 68- 86 y 87 -127 días de cultivo). Medias en las columnas con superíndice (a) indica que no existieron diferencias significativas entre los sistemas y densidades..	43
XI	Tasa de crecimiento en talla por día promedio y desviación estándar (mm/día) entre densidades y sistemas por días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.	44
XII	Tasa de crecimiento en peso y talla por día promedio y desviación estándar entre densidades y sistemas a los 127 días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b>c) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.	49
XIII	Mortalidad promedio y desviación estándar (abulones/canasta) entre densidades y sistemas por días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b>c) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.	53
XIV	Mortalidad total entre densidades y sistemas a los 127 días de cultivo.	56

I.- INTRODUCCION

1.1 Generalidades

Los abulones son moluscos gasterópodos bentónicos de la familia Haliotidae que habitan en zonas costeras rocosas, asociadas principalmente a mantos de algas marinas, pastos marinos y a poblaciones de erizo y otros organismos bentónicos costeros. Existen aproximadamente 100 especies de abulón en el mundo de las cuales solo diez tienen importancia comercial a nivel mundial (Hahn, 1989).

El abulón (*Haliotis* spp.), es un producto con un alto valor comercial y gran demanda en diversos países, principalmente en Estados Unidos de Norte América (E.U.A), Japón, China, Hong Kong, Taiwán, Singapur, Canadá, Nueva Zelanda, Tailandia y Corea. El abulón se consume principalmente como alimento en diferentes presentaciones tales como vivo, enlatado, seco o fresco congelado (Oakes y Ponte, 1996). La concha del abulón se aprovecha en la manufactura de implementos decorativos, y recientemente se esta utilizando para la producción de perlas para la elaboración y diseño de joyería fina (Matlins, 1996).

En México desde los años cuarenta se extrae el abulón comercialmente por diversas Organizaciones Cooperativas (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1999). Las principales especies que se extraen por actividad pesquera son abulón rojo (*Haliotis rufescens*), abulón azul (*Haliotis fulgens*) y abulón amarillo (*Haliotis corrugata*). En la década de los setentas se extraían más de 3,000 toneladas anualmente, sin embargo en la década de los ochenta, debido a la sobreexplotación del recurso, la pesquería empezó a declinar en forma drástica, cosechándose alrededor de 300 toneladas anuales. La disminución drástica de los volúmenes de captura originó el interés por

desarrollar la acuicultura de dicho molusco. Estos estudios culminaron para la década de los 90's con el desarrollo de la tecnología para el cultivo comercial de la abulón en la Península de Baja California, México (Salas y Searcy, 1992).

Actualmente en El Ejido Eréndira, Baja California Norte, México se cultiva el abulón rojo (*Haliotis rufescens*), abulón azul (*Haliotis fulgens*) y el abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en dos empresas privadas ("Productores Marinos Baja" y "Abulones Cultivados") y en varias Sociedades Cooperativas. Los laboratorios de producción de larva de abulón operados por las Sociedades Cooperativas tienen como objetivo principal el repoblamiento en el medio natural.

El cultivo de abulón por su complejidad se divide en varias etapas: maduración de reproductores, producción de semilla y engorda de juveniles y adultos. La maduración de los reproductores de abulón se realiza colocándolos a bajas densidades y controlando la temperatura y el fotoperíodo. Los Haliótidos presentan sexos separados y fertilización externa. Una hembra puede producir varios millones de óvulos maduros por desove. Por lo general, existe solo una época de desove, aunque hay especies que pueden presentar dos períodos de reproducción, incluso desovar durante todo el año. El sexo de los organismos se puede distinguir visualmente cuando están maduros, debido a que la gónada masculina presenta una coloración blanquecina amarilla, mientras que la gónada femenina es de color verde o café verdoso (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1999).

En la etapa de producción de semilla de abulón se contempla el desove, la fertilización, el cultivo de larvas y el cultivo de diatomeas bentónicas. El desove se realiza de manera sincrónica una vez que los organismos alcanzan su madurez sexual, y este se lleva a cabo por medio de cambios bruscos de temperatura y/o inductores químicos. El número de espermatozoides y ovocitos producidos por cada organismo varían según el tamaño, grado de madurez y origen de los organismos, ya sea silvestres o de cultivo. Una vez realizada la fertilización, aproximadamente a las 20 horas eclosiona la larva trocófora, que es de vida planctónica. Después de su primer día de

vida, la larva trocófora se convierte en veliger, la cual completa su desarrollo entre los 4 a 8 días, iniciando un período de metamorfosis y fijación pasando al estadio de postlarva con vida bentónica (Ebert y Houk, 1984).

La postlarva se cultiva fundamentalmente en dos diferentes tipos de sistema: el japonés y el americano. El sistema japonés o semi-intensivo utiliza placas de vinil para aumentar el área de superficie de cultivo. El sistema americano o intensivo utiliza tanques circulares de fondo y paredes planas. En esta etapa, los abulones inician su alimentación con microalgas menores a 10 μm , principalmente diatomeas bentónicas (Kawamura *et al.*, 1995).

La etapa de engorda de juveniles y adultos se lleva a cabo en tanques rectangulares fabricados de concreto, fibra de vidrio o plástico, dentro de los cuales se colocan canastos con malla plástica, y con láminas de fibra de vidrio o "PVC" que sirven de sustrato para los abulones. El abulón se considera en estadio juveniles a partir de que alcanzan la talla de 15 mm de longitud. En esta etapa, los abulones juveniles se alimentan de macroalgas y pueden comer desde un 5% a un 30% de su peso corporal por día. Esta alta tasa de alimentación se debe principalmente al gran contenido de agua (90%) de la macroalga (Hahn, 1989). En las granjas, la alimentación de los abulones en las fases de juveniles y adultos consiste de macroalgas frescas de la zona. Los principales géneros de macroalgas suministrados como dietas simples o en combinación son: *Macrocystis pyrifera*, *Egregia* sp., *Pelagophycus* sp. y *Gracilaria* sp. El alga roja *Porphyra* sp., es suministrada en primavera e invierno, que es cuando se encuentra disponible en el medio natural (Serviere, 2000).

Las densidades de cultivo de abulón que son utilizadas en las granjas comerciales mexicanas para los organismos de 5 cm varían desde 7 a 20 kg/m^3 con una cobertura de placa de

25%. La densidad de cultivo presenta un efecto marcado en la tasa de crecimiento, ya que a densidades altas disminuye considerablemente la tasa de crecimiento (Peck *et al.*, 1987). Mgaya y Mercer (1995), reportaron el efecto de tres densidades de cultivo (0.039, 0.068 y 0.124 abulones/cm²) en la tasa de crecimiento de *H. tuberculata* de 15 mm y concluyeron que el crecimiento disminuye exponencialmente conforme aumenta la densidad.

La tasa de crecimiento para el abulón varía dependiendo de la especie, el tamaño de los organismos, la densidad de siembra, la tasa de alimentación, los factores ambientales y el valor nutricional (Day y Fleming, 1992; Hahn, 1989)). El abulón rojo *H. rufescens* presenta una tasa de crecimiento de 2 mm/mes y de 1 mm/mes para organismos de 12 a 36 mm y 5 a 8 cm respectivamente, con una mortalidad menor al 1% (Ebert y Houk, 1984). La tasa de crecimiento de algunas especies de abulón puede diferir en condiciones controladas de laboratorio, y se reportan incrementos en la tasa de crecimiento de 88 $\mu\text{m}/\text{día}$ para *H. fulgens* a 27 °C, 77 $\mu\text{m}/\text{día}$ para *H. rufescens* a 18°C y 63.7 $\mu\text{m}/\text{día}$ para *H. corrugata* a 21°C (Hahn, 1989).

Una de las tres especies que se cultivan comercialmente en nuestro País es el abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) que por sus características de coloración de la carne (amarillo claro), y la forma de la concha tiene un alto potencial de mercado. El abulón amarillo *Haliotis corrugata*, se distribuye desde Punta Concepción, California, E.U.A., hasta Bahía Magdalena, Baja California Sur, México (Cox, 1960), verticalmente se localiza desde los siete metros hasta los 44 m de profundidad (Vega *et al.*, 1994). Los abulones son de lento crecimiento, requiriendo de 4 a 8 años para alcanzar valores promedios de 10 cm de longitud, según la especie. Se considera que el abulón amarillo *H. corrugata* puede alcanzar una longitud de concha de hasta 25 cm, con talla promedio de entre 15 a 17.5 cm y puede vivir más de 20 años (Tutschulte, 1976). La concha del abulón amarillo es delgada, circular arqueada con superficie rugosa y extremos corrugados, presenta de 2 a 4 poros respiratorios elevados y es de color verde opaco a rojizo. La parte interna de la concha es iridiscente, azul, verde y rosa. Estos organismos presentan tentáculos negros que se extienden fuera de la concha y la estructura epipodial en forma de cordón de color negro con manchas blancas (Cox, 1962; Hahn, 1989).

La temperatura preferida de *H. corrugata* es de 25°C sin tener diferencias entre el preferendum diurno y nocturno. La temperatura óptima de crecimiento es de 24.5 °C y la temperatura crítica máxima al 50% de 32 °C (Re-Araujo, 2003).

En los cultivos de abulón actualmente se utilizan los sistemas de recirculación principalmente para el mantenimiento y la maduración de los reproductores (Sawa, 2000). Existen estudios de diferentes especies de abulón tales como *H. discus hannai* (Park *et al.*, 1995; Nie *et al.*, 1996) y *H. tuberculata* (Mgaya y Mercer, 1995) cultivados en sistema de recirculación. Sin embargo, para el abulón amarillo *H. corrugata* no existen estudios relacionados al cultivo en sistema cerrado, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo favorecerán a seguir desarrollando la acuicultura de este organismo.

1.2 Antecedentes

El cultivo de engorda tradicional de abulón en nuestro país se lleva a cabo en tanques con flujo continuo, con tasas de recambio de 200 hasta 2,400 % por día (Vázquez-Moreno comunicación personal). Esto representa una limitante para el desarrollo de esta industria, ya que el costo de mover altos volúmenes de agua para el recambio representa hasta un 30% del costo total de producción en forma anual.

Una alternativa para disminuir los costos de producción del cultivo de abulón, es el uso de un sistema cerrado o de recirculación de agua. El sistema cerrado consiste en el reuso y tratamiento del agua utilizada en el sistema de cultivo, donde el volumen de recambio diario es menor o igual al 10% del volumen total (Losordo *et al.*, 1992a).

Otros beneficios de la utilización de un sistema de recirculación es la prevención de entrada de contaminantes, de organismos que ocasionen marea roja, predadores y enfermedades transmitidas por *Rickettsias* y sabélidos (Moore *et al.*, 2001; Finley *et al.*, 2001). El cultivar

organismos en sistema cerrado puede contribuir a la producción de abulón sano o bien libres de patógenos (Demetropoulos y Langdon, 2004).

Para cultivar organismos adecuadamente en un sistema cerrado el mantenimiento de una óptima calidad de agua es fundamental y esto se logra controlando los parámetros fisicoquímicos como el oxígeno disuelto, el nitrógeno amoniacal total (NAT), la producción de dióxido de carbono, el pH, la alcalinidad, la tasa de alimentación y la composición del alimento suministrada a los organismos (% de proteína cruda) (Losordo *et al.*, 1992a; Van Rijn, 1996).

Los procesos asociados al mantenimiento de la calidad de agua en un sistema cerrado son: nitrificación, remoción de sólidos, oxigenación o aireación, degasificación y circulación de agua (Van Gorder, 1991; Wheaton, 1991; Timmons *et al.*, 2002).

El proceso de nitrificación consiste en una serie de reacciones bioquímicas de oxidoreducción para la remoción de nitrógeno amoniacal total (NAT = $\text{NH}_4 + \text{NH}_3$) llevado a cabo por bacterias nitrificantes. Los géneros de bacterias nitrificantes más importantes son *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, las primeras oxidan el NAT a nitritos (NO_2), y las segundas oxidan los nitritos a nitratos (NO_3). El amonio no-ionizado (NH_3) y los nitritos son tóxicos para la mayoría de organismos en cultivo, ya que influyen en el deterioro de la estructura de los tejidos, en el funcionamiento celular, en la química sanguínea, en la osmorregulación, resistencia a enfermedades, crecimiento y capacidad reproductiva (Jeney *et al.*, 1992; Hagopian y Riley, 1998; Masser *et al.*, 1998). Las concentraciones que afectan al abulón van desde 0.110 de amonia no-ionizado y 1.3 mg NAT/ L (Harris *et al.*, 1998). Para *H. tuberculata* de 7 a 12 g, se reportan que puede cultivarse a concentraciones de 1 mg NAT/L, >5 mg NO_2 / L y 100 mg NO_3 /L (Basuyaux y Mathieu, 1999).

El biofiltro se considera como la parte fundamental del sistema cerrado. En base a su diseño, el biofiltro puede cumplir dos tareas fundamentales: nitrificación y remoción de sólidos en suspensión, heces y comida que no haya sido ingerida por el organismo (Sastry *et al.*, 1999; Malone y Beecher, 2000; Tseng y Wu, 2004). Uno de los biofiltros más utilizados para llevar a cabo la nitrificación es el que comúnmente se conoce como “bead filter” (Malone y Beecher, 2000), que contiene esferas de polietileno de baja densidad que son de aproximadamente 1.5 a 2 mm de diámetro, cuya función es la de proveer un sustrato para las bacterias nitrificantes (Figura 1).

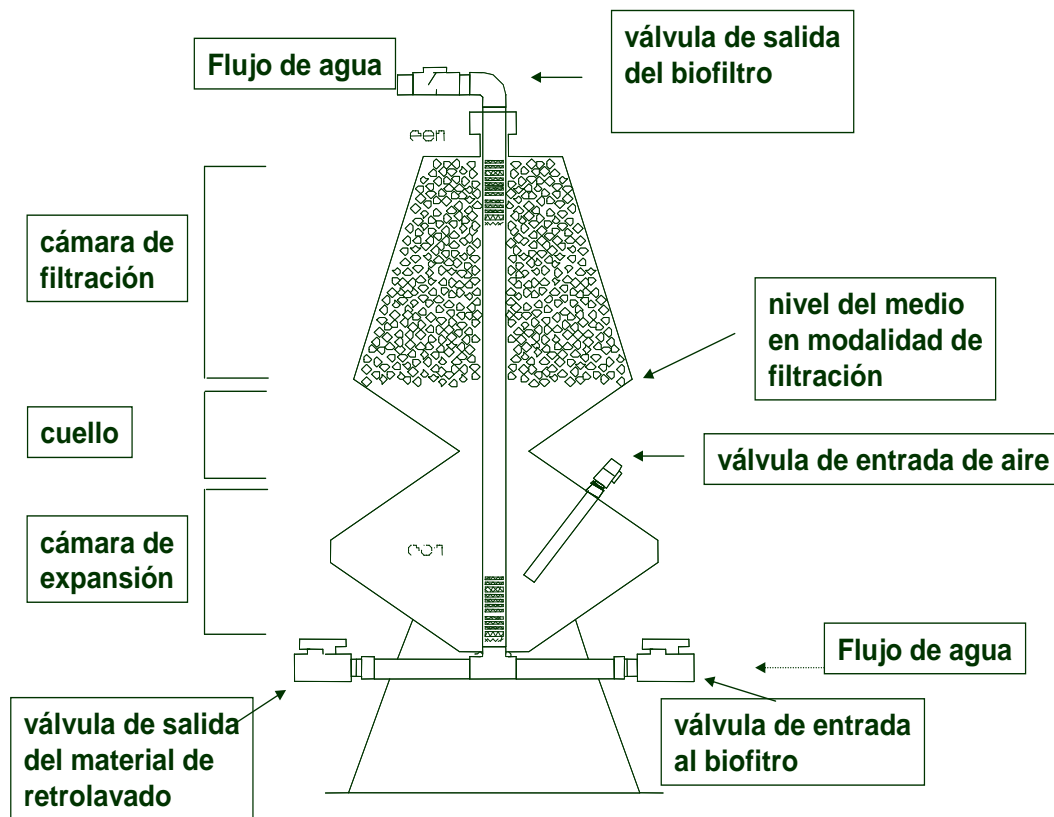


Figura 1. Esquema de un biofiltro con esferas de polietileno de baja densidad (“bead filter”) tomado de Malone *et al.*, 1996.

Las características creadas dentro del biofiltro tales como concentración moderada de oxígeno y turbulencia en su forma expandida, crean las condiciones óptimas para el crecimiento de las bacterias nitrificantes (Simonel *et al.*, 2002). Los sólidos de deshecho o sólidos fecales consisten en la porción de alimento no asimilada por el organismo. Los sólidos excretados por los organismos en cultivo dentro de los sistemas cerrados pueden generar descomposición bacteriana, contribuir al consumo de oxígeno disuelto y producción de nitrógeno amoniacal. Por esta razón

los sólidos de deshecho tienen que ser removidos rápidamente de los sistemas de cultivo y son clasificados como: sedimentables, suspendidos y disueltos. Dentro de un tanque de cultivo, los sólidos sedimentables se acumulan en el fondo, los suspendidos se quedan en la columna de agua y los disueltos son los menores a 30 μm y pueden constituir hasta el 50% de los suspendidos. Los sólidos sedimentables se remueven por medio de filtración mecánica, y los sólidos finos o disueltos por medio de un fraccionador de espuma. (Losordo *et al.*, 1992b; Shulin *et al.*, 1993).

La oxigenación o aireación en los sistemas de cultivo se realiza por medio de difusores de aire, agitadores de agua o inyección de oxígeno. La degasificación o remoción del dióxido de carbono se puede llevar a cabo de la misma manera que la aireación o bien utilizando columnas empacadas no presurizadas (Colt y Bouck, 1984; Summerfelt *et al.*, 2003). En un sistema intensivo cuando la tasa de consumo de oxígeno excede a la capacidad de un aireador se utiliza un difusor de oxígeno gaseoso puro (Losordo *et al.*, 1992b).

Con este estudio se evaluará el efecto de la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos tales como: la salinidad, la temperatura, el nitrógeno amoniacal total (NAT), los nitritos (NO_2) y la alcalinidad, en la tasa de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia del abulón amarillo (*H. corrugata*) en un sistema cerrado. En forma paralela se evaluará si la tasa de crecimiento y sobrevivencia del abulón *H. corrugata* no es significativamente diferentes a dos densidades de cultivo. Se establecerá una comparación de la tasa de crecimiento y sobrevivencia del abulón *H. corrugata*, mantenido en un sistema con flujo de agua cerrado y en un sistema con flujo de agua continua.

II.- OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos densidades de cultivo en el crecimiento de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en un sistema cerrado comparado con un sistema abierto.

Objetivos específicos

a) Determinar el efecto de parámetros fisicoquímicos: la salinidad, la temperatura, el nitrógeno amoniacal total (NAT), los nitritos (NO₂) y la alcalinidad, en la tasa de crecimiento y porcentaje de sobrevivencia del abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en un sistema cerrado.

b) Evaluar y comparar la tasa de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia del abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en dos densidades de cultivo (10% y 30% de cobertura de placa) en un sistema cerrado y un sistema abierto.

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1 Obtención de organismos

Para llevar a cabo este experimento se utilizaron 2,400 juveniles de abulón amarillo *H. corrugata* de 3 a 5 cm de longitud promedio de la concha y 10 gr. de peso húmedo promedio. Los abulones fueron obtenidos de las granjas de cultivo BC Abalone y Productores Marinos Baja S.A. de C.V. ubicadas en el Ejido Eréndira, B.C. Los organismos se transportaron al Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en hieleras con 3 bolsas de plástico con oxígeno puro. Cada bolsa de plástico contenía 2 bolsas malla (capacidad de 2.27 Kg) con 50 abulones cada una; por lo que en total se transportaron 100 abulones por bolsa de plástico y 300 por hielera. Una vez que los abulones llegaron al Departamento de Acuicultura del CICESE, se colocaron en jaulas de plástico en tanques circulares de 280 L donde se aclimataron por un periodo de 48 días a una temperatura de 20°C. Durante este periodo los abulones fueron alimentados “*ad libitum*” con macroalgas frescas *Macrocystis pyrifera*. El experimento tuvo una duración de 127 días iniciando el 29 de noviembre del 2004 y terminando el 5 de abril del 2005.

3.2 Sistemas de Cultivo

Sistema abierto

El sistema de flujo abierto, sistema número 1 (S1), consistió en 6 tanques circulares (0.77 m de diámetro x 0.46 m de alto) de color negro de fondo plano con capacidad máxima de 280 L. El

abastecimiento de agua para este sistema fue a través de la red de distribución general del Departamento de Acuicultura del CICESE, el cual consiste en el bombeo directo del agua de mar a dos tanques de almacenamiento de 100 m³ de capacidad, que después es pasada por un proceso de filtrado a 70 µm e irradiada con luz ultravioleta (UV). La tasa de flujo de agua manejada en este sistema fue de 0.5 L por minuto con recambio de volumen total de 289 % por día. La limpieza de las jaulas y los tanques se realizó una vez por semana y consistió en quitar el tubo de nivel para vaciar el tanque y posteriormente tallar con cepillo los tubos de "PVC", las paredes y el fondo de los tanques.

Sistema cerrado

Se utilizaron dos sistemas cerrados, sistema 2 (S2) y sistema 3 (S3). Cada sistema consistió de cinco tanques circulares (0.77 m de diámetro x 0.46 m de alto) de color negro de fondo plano con capacidad máxima de 280 L. Los tanques estaban conectados a un tanque de compensación rectangular (0.81 m de largo x 0.45 m de ancho x 0.46 m de alto) de 180 L y un biofiltro de 150 L de capacidad con 0.056 m³ de esferas de polietileno de baja densidad (Figura 2).

El agua utilizada en los tanques de cultivo de abulón se recirculó por medio de dos bombas centrifugas de 1/6 HP (Sifeguard sea horse, pentar aquatics, Ohio, E.U.A). La tasa de flujo de agua en cada tanque fue de aproximadamente 3 L por minuto. El abastecimiento de aire fue por medio de un aireador regenerativo eléctrico de capacidad de 7.5 HP. A fin de mantener una temperatura constante se utilizaron dos calentadores de agua de contacto marca Finnex de 800 W (JSK Merchandising Inc. Wesmont, IL. E.U.A.). La limpieza de los tanques y jaulas se realizó una vez por semana y consistió en tallar con cepillo los tubos de "PVC" y con una manguera de plástico retirar los sólidos del fondo de los tanques.

Los biofiltros fueron acondicionados previamente con 6 g de cloruro de amonio ($\text{NH}_4 \text{Cl}$) cada tercer día durante un periodo de 43 días. Durante los 2 primeros meses del experimento se realizaron retrolavados de los biofiltros con una frecuencia de dos veces por semana, y a partir del tercer mes se realizó un retrolavado por semana. El retrolavado consistió en vaciar de agua y generar una turbulencia dentro del biofiltro para remover sólidos y controlar poblaciones de bacterias. Para realizar esta actividad se cerraban la válvula de salida del biofiltro y la válvula de entrada al biofiltro y posteriormente se abría la válvula de salida del material de retrolavado. Una vez que el biofiltro quedaba vacío de agua se regresaban las válvulas a las posiciones iniciales y se reponía el volumen de agua en el tanque de compensación agregándole 150 L de agua del sistema abierto.

Los sistemas de cultivo fueron instalados en el exterior bajo un techo de lona de plástico para evitar el agua de la lluvia y la incidencia de luz solar directa. En cada uno de los tanques de cada sistema se colocaron cuatro jaulas con dimensiones de 0.25 m x 0.25 m x 0.30 m con luz de malla de 0.012 m. Cada jaula contenía 2 láminas de "PVC" verdes de 0.26 m x 0.24 m, por lo que cada jaula contenía una superficie de placa total de 0.24 m².

3.3 Calidad de agua

Se realizó un monitoreo diario de los parámetros fisicoquímicos del agua como la temperatura con un termómetro de mercurio y la salinidad con un refractómetro portátil. Las mediciones de nitrógeno amoniacal total (NAT), nitritos (NO_2), y la alcalinidad con "test HACH FF3" utilizando la metodología propuesta para cada análisis por Hach (1997), y con una frecuencia de dos veces por semana.

3.4 Alimentación

Los abulones se alimentaron una vez a la semana con macroalga fresca *Macrocystis pyrifera* obtenida de la Bahía de Ensenada durante los meses de Octubre a Diciembre del 2004 y Enero a Abril del 2005. La tasa de alimentación fue de 15% del peso corporal/día. El alimento proporcionado fue pesado en húmedo utilizando una balanza de escala.

3.5 Diseño experimental

Los abulones se colocaron en tres sistemas de cultivo: S1, S2 y S3. El primero correspondió al sistema de flujo abierto y los últimos dos a sistemas de recirculación. En cada sistema se realizó una distribución aleatoria de dos diferentes densidades de cultivo y cada densidad se evaluó por triplicado. Las densidades de cultivo iniciales fueron del 10% y 30% de cobertura de placa, lo que correspondió a 26 y 74 abulones por jaula respectivamente. Se colocaron cuatro jaulas por tanque quedando un total de 104 y 297 abulones por tanque lo que equivale al 10% y 30% de cobertura. Se utilizó un total de 12 tanques para el cultivo lo que correspondió a 6 tanques en sistema abierto y 6 tanques en sistema cerrado (Figura 3).

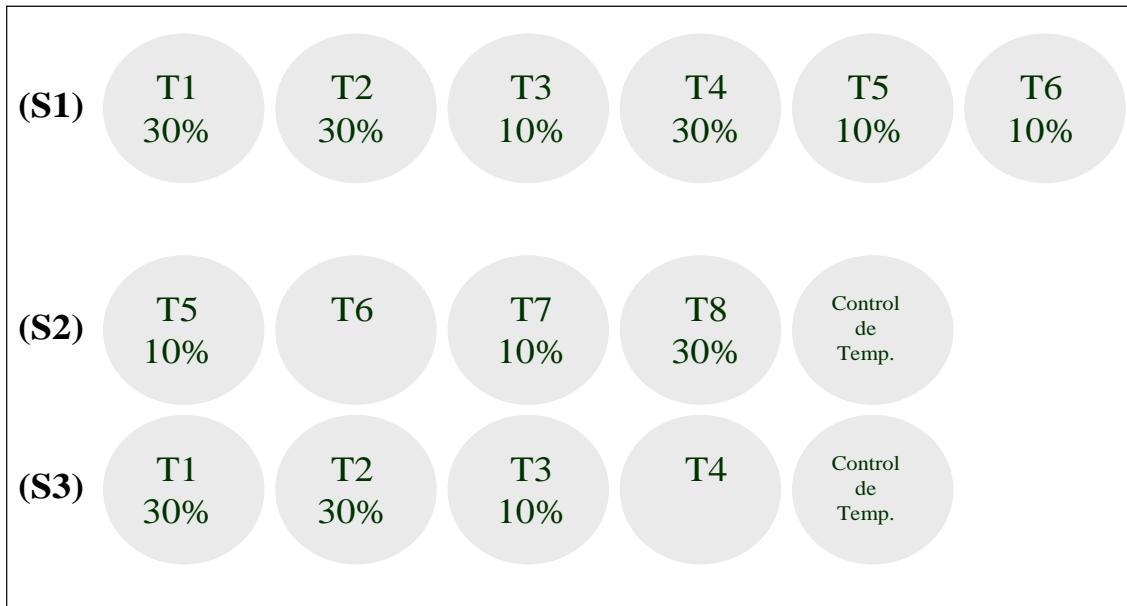


Figura 3. Presentación esquemática de la distribución aleatoria de las densidades de cultivo de abulón (10% y 30% de cobertura de placa) en 6 tanques (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) del sistema abierto (S1) y 6 tanques (T1, T2, T3, T5, T7 y T8) del sistema cerrado (S2 y S3).

Para evaluar el crecimiento de los juveniles de abulón se midió, el largo de la concha (0.1 mm) con un vernier digital y se pesaron los organismos (0.1 g) en una balanza digital marca Acculab modelo VI-200 (USA). Se realizaron 5 biometrías a los 0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo. En la primera y la última biometría (0 y 127 días de cultivo respectivamente) se midieron todos los organismos en cultivo. En las biometrías intermedias (a los 46, 67 y 86 días de cultivo) se utilizó un muestreo sistemático y se midieron todos los organismos de una canasta por tanque (Tabla I).

Tabla I.- Número de biometría, fecha de realización y cantidad de días transcurridos entre cada fecha de medición en los cultivos de abulón.

No. de Biometría	Fecha de Biometría	Días de cultivo entre biometrías	Días de cultivo Acumulados
1	29/11/04	0	0
2	14/01/05	46	46
3	4/02/05	21	67
4	23/02/05	19	86
5	5/04/05	41	127

La sobrevivencia se evaluó obteniendo la diferencia entre el número de organismos al inicio y el número de conchas retiradas cada semana. Al final del experimento se realizó un conteo para obtener la mortalidad total en cada sistema experimental. El experimento tuvo una duración de 127 días iniciando el 29 de Noviembre del 2004 y terminando el 5 de Abril del 2005.

3.6 Análisis de datos

En los datos obtenidos durante los experimentos fueron aplicadas pruebas de homocedasticidad y normalidad para decidir el tipo de estadística a utilizar (SAS, 1985).

Para determinar el efecto en el crecimiento y sobrevivencia del abulon de los parámetros fisicoquímicos en cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 – 127 días de cultivo) se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía (Statistica, 2000). Para este efecto, se analizó las diferencias significativas entre los tres sistemas en cada periodo de cultivo y después se analizó si existieron diferencias entre los periodos de medición en cada uno de los sistemas. Para evaluar las posibles diferencias entre el peso y la longitud de los abulones entre sistemas y densidades en las 5 biometrías (0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo) se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Para evaluar las posibles diferencias en la tasa de crecimiento y mortalidad entre densidades y sistemas durante los cuatro periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 – 127 días de cultivo) se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Cuando se encontró diferencias significativas entre tratamientos se realizó un análisis *a posteriori* tipo Tukey a un nivel de significancia de 0.05 (Sokal y Rohlf, 1979).

IV.- RESULTADOS

4.1 Parámetros fisicoquímicos

Salinidad

Se detectaron diferencias significativas entre el S1 y S2, siendo S3 similar a ambos a los 0 - 46 días de cultivo ($p = 0.0499$), durante los otros tres periodos no se detectaron diferencias significativas entre los tres sistemas. No se detectaron diferencias significativas en salinidad cuando se evaluó cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 - 127 días de cultivo) (Tabla II).

Tabla II.- Salinidad promedio y desviación estándar (g/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices ($a>b$) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1	33.7 (0.98) ^{b, x}	33.2 (0.83) ^{a, x}	33.9 (0.83) ^{a, x}	34.0 (1.08) ^{a, x}
S2	34.9 (1.16) ^{a, x}	34.8 (1.48) ^{a, x}	33.9 (1.24) ^{a, x}	34.3 (1.03) ^{a, x}
S3	34.6 (1.50) ^{ab, x}	34.8 (1.92) ^{a, x}	33.3 (1.68) ^{a, x}	34.3 (1.25) ^{a, x}

Durante el periodo experimental se encontraron fluctuaciones en salinidad. En el S1 la salinidad fluctuó entre 32 - 35 g/L. En el S2, la salinidad varió entre 32 - 37 g/L y para S3, entre 31 - 38 g/L (Figura 4).

Temperatura

Se detectaron diferencias significativas entre los intervalos de 68 - 86 y de 87 - 127 días de cultivo entre los tres sistemas. De los 68 - 86 días, el S2 fue significativamente diferente del S1 y S3 ($p = 0.0006$); de los 87 - 127 días el S1 fue significativamente mayor al S3 ($p = 0.0195$), siendo S2 similar a ambos. Al evaluar cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo, únicamente se detectaron diferencias significativas ($p = 0.0020$) en el S3 donde la temperatura promedio de los 47 - 67 días, fue significativamente mayor a la de los 68 - 86 y 87 - 127 días y la de los 0 - 46 días fue similar a todos los periodos de cultivo (Tabla III).

Tabla III.- Temperaturas promedio y desviación estándar ($^{\circ}\text{C}$) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices ($a>b$) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndices ($x>y$) indican diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1	18.1 (1.55) ^{a, x}	18.3 (1.58) ^{a, x}	17.2 (0.44) ^{b, x}	18.6 (1.08) ^{a, x}
S2	18.3 (1.94) ^{a, x}	19.4 (1.95) ^{a, x}	18.0 (0.00) ^{a, x}	17.7 (1.68) ^{ab, x}
S3	18.4 (2.01) ^{a, xy}	19.8 (1.99) ^{a, x}	17.1 (0.22) ^{b, y}	17.1 (1.23) ^{b, y}

Durante el periodo experimental se detectaron fluctuaciones en la temperatura. En el S1 la temperatura fluctuó entre los 16 - 21 $^{\circ}\text{C}$. En el S2 la temperatura varió entre 13.1 - 22.6 $^{\circ}\text{C}$. En el S3 la temperatura varió entre 13.5 - 22.5 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 5).

Nitrógeno amoniacal total (NAT)

No se detectaron diferencias significativas en el NAT entre los tres sistemas durante los cuatro periodos de cultivo. No se detectaron diferencias significativas en NAT cuando se evaluó cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 - 127 días de cultivo) (Tabla IV).

Tabla IV.- Nitrógeno amoniacal total promedio y desviación estándar (mg/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndice (a) indica que no existió diferencias significativas entre los sistemas. Superíndice (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1	0.01 (0.02) ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}
S2	0.06 (0.08) ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}
S3	0.03 (0.10) ^{a, x}	0.03 (0.03) ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}

Durante el periodo experimental se encontraron fluctuaciones de los valores de NAT. En el S1 el NAT fluctuó entre 0 - 0.05 mg/L. En el S2, el NAT varió de 0 - 0.2 mg/L y en el S3 el NAT varió de 0 - 0.3 mg/L (Figura 6).

Nitritos (NO₂)

Se detectaron diferencias significativas a los 0 – 46 y 87 – 127 días entre los tres sistemas. De los 0 – 46 días, el S1 fue significativamente menor ($p = 0.0000$) que S2 y S3. De los 87 - 127 días se encontraron diferencias significativas ($p = 0.0166$) entre S1 y S3, siendo S2 similar a ambos. Al evaluar cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo, únicamente se detectaron diferencias significativas ($p = 0.0153$) en el S2 donde la concentración de NO₂ promedio de los 0 - 46 días fue significativamente diferente a la de los 87 - 127 días y la de los 47 – 67 y 68 – 86 días fue similar a todos los periodos de cultivo (Tabla V).

Tabla V.- Nitritos promedio y desviación estándar (mg/L) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas. Superíndices (x>y) indican diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.

	Días de cultivo			
	0 – 46	47 - 67	68 – 86	87 – 127
S1	0 ^{b, x}	0 ^{a, x}	0 ^{a, x}	0 ^{b, x}
S2	0.127 (0.07) ^{a, x}	0.043 (0.07) ^{a, xy}	0.10 (0.07) ^{a, xy}	0.015 (0.02) ^{ab, y}
S3	0.089 (0.04) ^{a, x}	0.043 (0.07) ^{a, x}	0.076 (0.00) ^{a, x}	0.04 (0.02) ^{a, x}

Durante el periodo experimental se encontraron fluctuaciones en los NO₂. En el S1 la concentración de NO₂ siempre fue de 0 mg/L. En el S2, la concentración de NO₂ fluctuó de 0 - 0.2 mg/L y en el S3 la concentración de NO₂ vario de 0 - 0.15 mg/L (Figura 7).

Alcalinidad

No se detectaron diferencias significativas en la alcalinidad promedio entre los tres sistemas durante los cuatro periodos de cultivo. No se detectaron diferencias significativas en alcalinidad cuando se evaluó cada sistema durante los cuatro periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 - 127 días de cultivo) (Tabla VI).

Tabla VI.- Alcalinidad promedio y desviación estándar (mg/L de CaCO_3) para un sistema abierto (S1) y dos sistemas cerrados (S2 y S3) por días de cultivo. Superíndice (a) indica que no existió diferencias significativas entre los sistemas. Superíndices (x) indica que no existieron diferencias significativas entre los periodos de cultivo en cada sistema.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1	130 (16.81) ^{a, x}	132 (14.14) ^{a, x}	122 (11.31) ^{a, x}	122 (11.23) ^{a, x}
S2	124 (5.09) ^{a, x}	145 (11.31) ^{a, x}	133 (2.12) ^{a, x}	147 (17.50) ^{a, x}
S3	123 (15.15) ^{a, x}	147 (7.07) ^{a, x}	135 (1.41) ^{a, x}	131 (14.04) ^{a, x}

Durante el periodo experimental se encontraron fluctuaciones de los valores de alcalinidad. En el S1 la alcalinidad fluctuó de 110 - 156 mg/L de CaCO_3 . En el S2, la alcalinidad vario de 118 - 164 mg/L de CaCO_3 y en el S3 la alcalinidad varió de 97 - 152 mg/L de de CaCO_3 (Figura 8).

Tasa de recambio de agua

En S1 se requirió para cada tanque un volumen de agua de mar de 720 L/día. Para los 6 tanques de cultivo total se utilizo un volumen de agua de mar de 548,640 L para los 127 días de cultivo. En S2 y S3, se utilizo un volumen de agua total de cultivo de 6,375 L por sistema, de los

cuales 430 L fue de agua dulce para remplazar pérdida por evaporación. La tasa de recambio en los sistemas cerrados fue variante durante los días de cultivo (Tabla VII).

Tabla VII.- Tasa de recambio de agua diaria en porcentaje en los tres sistemas de cultivo de abulón durante los cuatro periodos de cultivo (0- 46, 47 -67, 68 – 86 y 87 – 127 días de cultivo).

	Días de cultivo			
	0 – 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1	289 %	289 %	289 %	289 %
S2	3.79 %	3.58 %	2.57 %	1.74 %
S3	3.79 %	3.58 %	2.57 %	1.74 %

4.2 Mediciones de peso entre densidades

Se compararon los pesos promedios entre D1 (10 % de cobertura de placa) y D2 (30 % de cobertura de placa) en las biometrías 1, 2, 3, 4 y 5 (0, 46, 67, 86 y 127 días de cultivo) respectivamente. En la biometría 1 se detectaron diferencias significativas entre las dos densidades ($p = 0.0010$). En las otras cuatro biometrías no se detectaron diferencias significativas entre ambas densidades (Figura 9).

4.3 Mediciones de peso entre sistemas

Se analizaron las diferencias en pesos promedios entre los tres sistemas (S1, S2 y S3) en cada biometría (1, 2, 3, 4 y 5). En la biometría 1, se detectaron diferencias significativa en el peso de los abulones del S1 y del S3, siendo los del S2 similar a ambos ($p = 0.0061$). En la biometría 2, el

peso de los abulones del S1 fue significativamente mayor a los del S2 y S3 ($p = 0.0000$) siendo el peso de los abulones del S2 y S3 similares. En la biometría 3 no se detectaron diferencias significativas entre los pesos de los abulones de los tres sistemas. En la biometría 4, el peso de los abulones del S1 fue significativamente diferente y mayor a los del S2 y S3 ($p = 0.0026$) siendo estos últimos similares entre ellos. En la biometría 5, el peso de los abulones del S1 fue significativamente mayor a los del S2 y S3 ($p = 0.0000$) siendo estos últimos similares entre ellos (Figura 10).

4.4 Comparaciones de pesos entre densidades y sistemas

Se analizaron los pesos promedios entre D1 y D2 en los tres sistemas en cada biometría (1, 2, 3, 4, y 5). Los pesos promedios registrados en la biometría 1 indicaron diferencias significativas ($p = 0.0303$) entre S1D2 y S1D1, S3D1 y S3D2; siendo S2D1 y S2D2 similar a todos. En las biometrías 2, 3, 4, y 5 no se registraron diferencias significativas (Tabla VIII). Se incluye figura A en el anexo.

4.5 Mediciones de talla entre densidades

Se analizaron las talla promedios entre la D1 y D2 en cada biometría (1, 2, 3, 4, y 5). En la biometría 1 la talla de los abulones de D1 fue significativamente mayor que la de D2 ($p = 0.0285$). En las biometrías 2 y 3 no se encontraron diferencias significativas en la talla de los abulones de ambas densidades. En la biometría 4, la talla de los abulones de D2 fue significativamente mayor

que la de D1 ($p = 0.0265$). En la biometría 5 no se encontraron diferencias significativas en la talla de los abulones de ambas densidades (Figura 11).

4.6 Mediciones de talla entre sistemas

Se analizaron las diferencias en tallas promedio entre los tres sistemas (S1, S2 y S3) en cada biometría (1, 2, 3, 4 y 5). En la biometría 1, la talla de los abulones de S2 fue significativamente mayor que la de S3, siendo la de S1 similar a ambas ($p = 0.0005$). En las biometría 2, 3 y 4, no se detectaron diferencias significativas entre la talla de los abulones de los tres sistemas. En la biometría 5, la talla de los abulones de S1 fue significativamente mayor a la de S2 y S3 ($p = 0.0000$) (Figura 12).

4.7 Comparaciones de talla entre densidades y sistemas

Se analizaron las tallas promedio entre D1 y D2 en los tres sistemas en cada biometría (1, 2, 3, 4, y 5). Se detectaron diferencias significativas en la biometría 1 entre S2D1 y S3D2; siendo S3D1, S2D2 y S1D2 similar a S2D1 y S1D1, este último similar a S3D2 ($p = 0.0000$). No se detectaron diferencias significativas en las biometrías 2, 3 y 4. Se encontraron diferencias significativas en la biometría 5 entre sistemas y densidades, donde S1D1 y S1D2 fueron significativamente diferente y mayor a todos los demás; S2D1 diferente y mayor a S3D1 y S2D2 y S3D2 similar a estos dos últimos ($p = 0.0330$) (Tabla IX). Se incluye figura B en el anexo.

4.8 Tasa de crecimiento entre densidades

Peso

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en peso por día obtenidas entre D1 y D2 en los periodos de cultivo (0 - 46, 47 - 67, 68 - 86 y 87 - 127 días de cultivo) (Figura 13).

Talla

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en talla por día obtenidas entre D1 y D2 en los periodos de cultivo (Figura 14).

4.9 Tasa de crecimiento entre sistemas

Peso

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en peso obtenidas de los 0 – 46, 47 - 67 y 68 – 86 días entre los sistemas. En las tasas de crecimiento en peso obtenidas de los 87 – 127 días de cultivo, S1 es significativamente diferente y mayor ($p = 0.0218$) a S2 y S3 (Figura 15).

Talla

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en talla por día obtenidas entre los sistemas S1, S2 y S3 (Figura 16).

4.10 Comparaciones de tasa de crecimiento entre densidades y sistemas

Peso

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en peso por día entre las densidades D1 y D2 en los tres sistemas S1, S2 y S3 (Tabla X).

Tabla X.- Tasa de crecimiento en peso por día promedio y desviación estándar (g/día) entre densidades y sistemas por periodos de cultivo (0 – 46, 47 – 67, 68- 86 y 87 -127 días de cultivo). Medias en las columnas con superíndice (a) indica que no existieron diferencias significativas entre los sistemas y densidades.

	Días de cultivo			
	0 – 46	47 - 67	68 - 86	87 – 127
S1D1	0.018 (0.02) ^a	0.028 (0.06) ^a	-0.026 (0.03) ^a	0.062 (0.01) ^a
S1D2	0.020 (0.00) ^a	-0.007 (0.02) ^a	0.013 (0.02) ^a	0.032 (0.01) ^a
S2D1	0.009 (0.00) ^a	0.007 (0.00) ^a	-0.022 (0.04) ^a	0.019 (0.01) ^a
S2D2	-0.003 (0.00) ^a	0.038 (0.00) ^a	-0.017 (0.00) ^a	0.006 (0.00) ^a
S3D1	-0.004 (0.00) ^a	0.083 (0.00) ^a	-0.063 (0.00) ^a	0.014 (0.00) ^a
S3D2	0.000 (0.00) ^a	0.041 (0.01) ^a	-0.020 (0.03) ^a	0.015 (0.02) ^a

Talla

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en talla por día de los 0-46, 47 – 67 y 68 – 86 días de cultivo. Se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en talla por día de los 87 – 127 días de cultivo, donde S1D1 fue mayor a S2D2, S3D1 y S3D2; S1D2 y S2D1 fueron similar a todos los demás ($p = 0.02643$) (Tabla XI).

Tabla XI.- Tasa de crecimiento en talla por día promedio y desviación estándar (mm/día) entre densidades y sistemas por días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 - 127
S1D1	0.030 (0.06) ^a	0.023 (0.14) ^a	-0.018 (0.05) ^a	0.081 (0.02) ^a
S1D2	0.025 (0.01) ^a	0.015 (0.02) ^a	0.029 (0.02) ^a	0.045 (0.00) ^{ab}
S2D1	0.002 (0.01) ^a	0.040 (0.03) ^a	-0.070 (0.05) ^a	0.051 (0.01) ^{ab}
S2D2	0.023 (0.00) ^a	0.028 (0.00) ^a	-0.004 (0.00) ^a	0.004 (0.00) ^b
S3D1	-0.009 (0.00) ^a	0.053 (0.00) ^a	-0.028 (0.00) ^a	0.001 (0.00) ^b
S3D2	0.033 (0.00) ^a	0.022 (0.03) ^a	-0.007 (0.05) ^a	0.029 (0.01) ^b

4.11 Tasa de crecimiento total entre densidades

No se detectaron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en peso y talla por día obtenidas entre D1 y D2 a los 127 días de cultivo total (Figura 17 y Figura 18).

4.12 Tasa de crecimiento total entre sistemas

En la tasa de crecimiento en peso obtenida a los 127 días de cultivo total entre sistemas se detectó que S1 fue significativamente diferente y mayor que S2 y S3 ($p = 0.0000$) (Figura 19). En la

tasa de crecimiento en talla obtenida en los 127 días de cultivo total entre sistemas se detecto que S1 fue significativamente diferente y mayor que S2 y S3 ($p = 0.0000$) (Figura 20).

4.13 Comparaciones de tasa de crecimiento total entre densidades y sistemas

En la tasa de crecimiento en peso obtenida a los 127 días de cultivo total entre densidades y sistemas se detecto diferencias significativas entre S1D1 y S1D2, siendo ambas diferentes a S2D1, S2D2, S3D1 y S3D3 ($p = 0.0061$). En la tasa de crecimiento en talla obtenida a los 127 días de cultivo total entre densidades y sistemas se detecto diferencias significativas entre S1D1 y S3D1, siendo ambas diferentes a S1D2 y S3D2 y todos diferentes a S2D1 y S2 D2 ($p = 0.0000$) (Tabla XII).

Tabla XII.- Tasa de crecimiento en peso y talla por día promedio y desviación estándar entre densidades y sistemas a los 127 días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b>c>d) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.

	Peso g/día	Talla mm/día
S1D1	0.027 (0.01) ^a	0.038 (0.00) ^a
S1D2	0.018 (0.00) ^b	0.031 (0.00) ^b
S2D1	0.007 (0.00) ^c	0.013 (0.00) ^c
S2D2	0.005 (0.00) ^c	0.013 (0.00) ^c
S3D1	0.007 (0.00) ^c	0.002 (0.00) ^d
S3D2	0.009 (0.00) ^c	0.024 (0.01) ^b

4. 14 Mortalidad entre densidades

Se detectaron diferencias significativas de los 0 – 46 días entre D1 y D2, presentándose las mayores mortalidades en D2 ($p = 0.0000$). No se encontraron diferencias significativas de los 47 – 67 y de los 68 – 86 días entre D1 y D2. Se detectaron diferencias significativas en las mortalidades en número de abulones promedio de los 87 – 127 días, donde la mortalidad más alta se presentó en D2 ($p = 0.0000$) (Figura 21).

4.15 Mortalidad entre sistemas

Se encontraron diferencias significativas en las mortalidades de los 0 – 46 días, donde S3 fue significativamente diferente y mayor a S1 y S2 ($p = 0.0001$). De los 47 – 67 días, S1 tuvo una mortalidad significativamente diferente y menor a S2 y S3 ($p = 0.0009$). De los 68 – 86 días de cultivo no se encontraron diferencias significativas en las mortalidades en número de abulones promedio por canasta. Se encontraron diferencias significativas en las mortalidades de los 87 – 127 días, donde S3 fue significativamente diferente y mayor a S2, siendo S1 similar a ambos ($p = 0.0269$) (Figura 22).

4.16 Comparaciones de mortalidad entre densidades y sistemas

Se analizaron las mortalidades promedio por canasta entre las densidades D1 y D2 en los tres sistemas S1, S2 y S3 en los periodos de cultivo, Se detectaron diferencias significativas de los 0 – 46 días de cultivo, donde S3D2 fue significativamente diferente de todos los demás ($p = 0.03846$). Se detectaron diferencias significativas de los 47 – 67 días de cultivo entre S3D2, S1D2 y

S1D1, siendo S2D1 similar a S3D2 y S1D2; S2D2 y S3D1 similar a todos ($p = 0.03745$). No se detectaron diferencias significativas en los periodos de 68 – 86 y 87 – 127 días de cultivo (Tabla XIII).

Tabla XIII.- Mortalidad promedio y desviación estándar (abulones/canasta) entre densidades y sistemas por días de cultivo. Medias en las columnas con superíndices (a>b>c) indican diferencias significativas entre los sistemas y densidades.

	Días de cultivo			
	0 - 46	47 - 67	68 - 86	87 – 127
S1D1	1.333 (1.97) ^b	0.500 (0.67) ^c	0.417 (0.90) ^a	0.500 (0.67) ^a
S1D2	4.500 (4.62) ^b	0.833 (0.72) ^b	0.500 (0.90) ^a	1.667 (1.50) ^a
S2D1	1.375 (1.19) ^b	3.250 (3.01) ^{ab}	0.375 (0.52) ^a	0.125 (0.35) ^a
S2D2	5.75 (4.57) ^b	1.750 (1.50) ^{abc}	0.250 (0.50) ^a	2.000 (1.83) ^a
S3D1	3.250 (3.20) ^b	1.250 (1.26) ^{abc}	0.250 (0.50) ^a	0.500 (0.58) ^a
S3D2	13.125 (4.19) ^a	4.000 (2.88) ^a	1.625 (1.60) ^a	3.250 (1.75) ^a

4.17 Mortalidad total

La mortalidad total obtenida en D1 y D2 a los 127 días de cultivo fue de 15.22 % (95 abulones) y 17.17 % (305 abulones) respectivamente (Figura 23). La mortalidad total obtenida en los sistemas S1, S2 y S3 a los 127 días de cultivo fue de 10.25 % (123 abulones), 15.87 % (80 abulones) y 28.30 % (197 abulones) respectivamente (Figura 24). La mortalidad total entre las densidades D1 y D2 en los tres sistemas S1, S2 y S3 a los 127 días de cultivo fue de 16.67 % (400 abulones) (Tabla XIV).

Tabla XIV.- Mortalidad total entre densidades y sistemas a los 127 días de cultivo.

Sistema densidad	Cobertura de placa (%)	Abulones iniciales (Num. de abulones)	Mortalidad total (Num. de abulones)	Mortalidad total (%)
S1D1	10	312	33	10.58
S1D2	30	888	90	10.14
S2D1	10	208	41	19.71
S2D2	30	296	39	13.18
S3D1	10	104	21	20.19
S3D2	30	592	176	29.73
Total		2,400	400	16.67

En relación a la mortalidad promedio en número de abulones por canasta total, el S3D2 fue significativamente diferente y mayor que los demás ($p = 0.0032$) (Figura 25).

V.- DISCUSION

5.1 Parámetros fisicoquímicos

Salinidad

Cada especie acuática presenta un rango óptimo de salinidad en el cual pueden desarrollarse normalmente, sin embargo la mayoría de las especies pueden tolerar variaciones de salinidad sin afectar sus funciones fisiológicas. Los organismos que son expuestos a valores de salinidad fuera del rango óptimo modifican su balance energético, y la energía que podría ser utilizada para el crecimiento, el mantenimiento o desarrollo gonadal la gastan para llevar a cabo la osmorregulación (Timmons *et al.*, 2002). Los abulones de diferentes especies toleran diferentes rangos de salinidad dependiendo de su hábitat, por ejemplo: *H. discus hannai* de 25 - 44 g/L, *H. rufescens* de 32 g/L (± 0.02), *H. tuberculata* de 34 g/L (± 1), *H. laevigata* de 34 g/L, *H. diversicolor supertexto* y *H. fulgens* de 35 g/L, *H. varia* de 32 g/L (± 2) y *H. asinina* de 30 - 34 g/L (Hahn, 1989; Basuyaux y Mathieu, 1999; Harris *et al.*, 1999; Capinpin *et al.*, 1999; Medina - Romo, 2002 ; Steinarsson e Imsland, 2003; Cheng *et al.*, 2004; Najmudeen y Victor, 2004). La salinidad recomendada para el abulón *H. corrugata* es de 35 g/L (Re Araujo, 2003). En este estudio, la salinidad promedio fue de 33.7 g/L, 34.4 g/L y 34.2 g/L en S1, S2 y S3 respectivamente. Los sistemas cerrados S2 y S3 presentaron salinidades de hasta 37 y 38 g/L, estas salinidades fueron más altas que en el sistema abierto S1 y se registraron en el segundo periodo de tiempo (47 a 67 días de cultivo). El sistema cerrado S3 presentó las salinidades más bajas que los otros dos sistemas de cultivo y fueron de 31 g/L y se registraron al tercer periodo de tiempo (68 a 86 días de cultivo). La diferencia del sistema abierto con respecto al sistema cerrado, fue el control de la salinidad, la cual varió principalmente por evaporación del agua que incrementó la salinidad, y

para mantenerla en los niveles adecuados se adicionó agua dulce. Otra de las causas que podrían ocasionar una variación de salinidad es por dilución del agua causada por lluvia o por una adición mayor de agua dulce que tiende a disminuir la salinidad y para ajustarse a niveles adecuados se agrega sal marina comercial (Malone y Burden, 1988).

Temperatura

La temperatura del agua tiene un fuerte efecto en la viabilidad económica de los cultivos comerciales, ya que afecta directamente diversos procesos fisiológicos de los organismos como la tasa de respiración, la eficiencia en la asimilación de alimento, el crecimiento, el comportamiento y la reproducción (Timmons *et al.*, 2002). En los abulones, la temperatura es de extrema importancia debido a que son organismos poiquiloterms y no pueden mantener la temperatura corporal constante cuando cambia la temperatura ambiental. Una variación de uno o dos grados puede representar repercusiones en el metabolismo de los abulones (Mozqueira, 1996). Spencer (2002) reportó que el rango de temperatura para el cultivo de *H. corrugata* es de 15 a 23 °C, sin embargo Re-Araujo (2003) reportó para *H. corrugata* una temperatura preferida de 25 °C y una temperatura óptima de crecimiento de 24.5 °C. En este estudio la máxima temperatura registrada fue de 21 °C, 22.6 °C y 22.5 °C en el S1, S2 y S3 respectivamente. En los sistemas cerrados S2 y S3 se registraron variaciones de temperatura de 13.1 °C a 22.6 °C y 13.5 °C a 23 °C en un periodo de 15 y 14 días respectivamente durante el primer periodo de cultivo (0 - 46 días de cultivo). En este periodo se registró la mayor variabilidad de temperatura en todos los sistemas, donde en el sistema abierto fue ocasionada por la variación climática y en los sistemas cerrados debido a fallas eléctricas que ocasionaron que los calentadores de agua se apagaran y se registraran las temperaturas más bajas en los sistemas S2 y S3.

Nitrógeno amoniacal total (NAT)

Estudios en el abulón *H. laevigata* han reportado que estos organismos son más sensibles a altas concentraciones de amonio y nitritos que otras especies de invertebrados y peces (Harris *et al.*, 1998). El nivel de toxicidad para *H. tuberculata* de 7 a 12 g es de 10 mg NAT/L (0.451 mg N-NH₃/L) y se recomienda para su cultivo una concentración no mayor a 1 mg NAT/L (Basuyaux y Mathieu, 1999). Durante los primeros días del experimento en los tres sistemas de cultivo se registró la presencia de NAT para después disminuir hasta quedar en cero. El cambio en las concentraciones de NAT, indicó que el manejo del biofilm en el biofiltro fue mejorando a lo largo del experimento, esta situación se presentó en forma similar en un cultivo de *P. monodon* en un sistema de recirculación (Tseng *et al.*, 1998). El manejo del biofilm se realiza por medio de la frecuencia e intensidad del retrolavado, donde a mayor intensidad la frecuencia debe disminuir para controlar la biomasa de bacterias nitrificantes o viceversa (Golz *et al.*, 1999). En este estudio, durante los 2 primeros meses del experimento se realizaron retrolavados de los biofiltros con una frecuencia de dos veces por semana, con la excepción del día 13, donde se realizaron 3 retrolavados, registrándose para el día 18 un aumento en el NAT, lo que indicó que se eliminó una mayor cantidad de biofilm del recomendado para llevar a cabo un proceso óptimo de nitrificación (Sastry *et al.*, 1999; Sandu *et al.*, 2002). A partir del tercer mes se realizó un retrolavado por semana reflejándose en un decremento en las concentraciones de NAT en los sistemas cerrados.

Nitritos (NO₂)

Las altas concentraciones de nitritos en el agua disminuyen el transporte de oxígeno en la sangre de los organismos acuáticos (Timmons *et al.*, 2002). Basuyaux y Mathieu (1999), reportan

para *H. tuberculata* (7-12 g), que el peso incrementaba hasta un 70% a 2 mg NO₂/L, pero a una concentración de 5 mg NO₂/L el peso disminuía. En este trabajo, los nitritos siempre estuvieron presentes en los sistemas cerrados con concentraciones promedio de 0.08 mg/L y 0.06 mg/L en S2 y S3 respectivamente. Estas concentraciones de nitritos fueron menores al rango de valores de 0.3 - 2 mg/L reportados como adecuados para el cultivo de organismos acuáticos (Timmons y Losordo, 1997). El S2 mostró una mayor concentración de nitritos los tres primeros periodos de cultivo, esto pudo deberse a que como presentaba menores densidades, aumentó la actividad y el consumo de alimento causando una mayor cantidad de desechos metabólicos (Neori *et al.*, 1998; Capinpin. *et al.*, 1999).

Alcalinidad

La alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para neutralizar la acidez o en términos químicos, se define como la cantidad total de carbonato de calcio (CaCO₃) expresada en mg/L (Timmons *et al.*, 2002). En trabajos anteriores con el abulón *H. rufescens*, se registraron valores de alcalinidad en sistemas con flujo abierto de 95 – 140 mg CaCO₃/L, y en sistemas cerrado de 100 – 165 mg CaCO₃/L, estos últimos fueron mantenidos por adición de bicarbonato de sodio (Vivanco - Aranda, 2004). En este trabajo, el sistema abierto registró durante los primeros dos periodos de cultivo de 0- 46 y de 47 – 67 días los valores mayores de alcalinidad 130 y 132 mg de CaCO₃/L respectivamente con tendencia a disminuir. En los sistemas cerrados la tendencia fue lo contrario, ya que en el primer periodo se registró una alcalinidad de 124 y 123 mg de CaCO₃/L en S2 y S3 respectivamente. Para mantener la alcalinidad en el rango de 100 – 200 mg de CaCO₃/L requerido para el buen funcionamiento de los biofiltros en los sistemas cerrados, se añadieron conchas de abulones en cada uno de los tanques de compensación. Este método de control de la

alcalinidad tiene un efecto similar a la utilización de grava calcárea, conchas de almejas o la adición de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) propuesto en otros trabajos para mantener la alcalinidad por encima de $100 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ (Malone *et al.*, 1996; Malone y Burden, 1988; Malone y Beecher, 2000; Timmons *et al.*, 2002).

Tasa de recambio de agua

Una alternativa para disminuir los costos de producción asociados al bombeo, es por medio del uso de los sistemas de recirculación. Un sistema de recirculación tiene un volumen de recambio igual o menor al 10% del volumen total (Losordo *et al.*, 1992a; Malone *et al.*, 1996; Masser *et al.*, 1998;). La tasa de recambio óptima depende de algunos factores como la especie a cultivar, la densidad, las practicas de manejo, la tecnología de producción y el grado de riesgo que se decida tomar (Timmons *et al.*, 2002). En este estudio, los recambios de agua promedio por día en ambos sistemas cerrados fueron menores al 4 %, debido a que únicamente se agregaba agua después de los retrolavados (180 L), sifoneos o cuando las concentraciones de salinidad, NO_2 y NAT se incrementaban. En los sistemas cerrados, la tasa de recambio de agua podría ser balanceada considerando las limitantes económicas y fisiológicas (Basuyaux y Mathieu, 1999; Ford y Langdon, 2000; Sandu *et al.*, 2002). Una respuesta fisiológica a estas bajas tasas de recambio puede verse reflejada en las bajas tasas de crecimiento obtenidas en los sistemas cerrados con respecto al sistema abierto, debido a que el crecimiento del abulón se inhibe cuando hay un incremento en los desechos metabólicos (Hahn, 1989). Una combinación de amonio, nitritos y variaciones de temperaturas aunado a una baja tasa de recambio, pudo influir en las mayores mortalidades de abulones en los sistemas cerrados, principalmente en el S3. En el S3, había 2 tanques con densidad del 30% de cobertura de placa. En altas densidades de cultivo se

incrementan los volúmenes de alimento y los desechos metabólicos, por lo que se requieren de altas tasas de recambio para mantener la calidad de agua en los sistemas de cultivo (Losordo *et al.*, 1992a; Aviles y Shepherd, 1996 y Capinpin *et al.*, 1999). Otro factor causado por altas densidades, bajas tasas de recambio y la utilización de canastas que restringen el movimiento del agua, fue la gran acumulación de sólidos dentro de los tanques circulares. El aumentar las tasas de recambio y el mejorar el diseño del tanque de cultivo para facilitar la remoción de sólidos dentro de los sistemas de recirculación, ayudaría a mejorar las tasas de crecimiento y la sobrevivencia de los abulones en los sistemas de recirculación (Losordo *et al.*, 1992b; Leonard *et al.*, 2002; Pfeiffer, 2004; Huggins *et al.*, 2004).

5.2 Peso y talla entre densidades

En este experimento los organismos mantenidos en la densidad de cultivo más alta (30% de cobertura de placa) presentaron un peso mayor que los organismos sometidos a baja densidad (10% de cobertura de placa) y lograron mantenerse así hasta los 86 días de cultivo. Los últimos 41 días del experimento los organismos en baja densidad los superaron terminando con peso mayor. Con respecto a la talla los organismos en alta densidad al inicio del experimento tuvieron menor talla sin embargo a lo largo del cultivo se observó la misma tendencia que la obtenida con el peso.

5.3 Peso y talla entre sistemas

En este trabajo los organismos cultivados en los sistemas cerrados durante el primer periodo de cultivo de 0 – 46 días, presentaron un peso menor que los organismos del sistema

abierto mientras que en talla no se presentó diferencia. En este periodo, el peso de los organismos pudo ser afectado más que el crecimiento de la concha por las altas concentraciones de amonio presentes en los sistemas cerrados (Harris *et al.*, 1998). En *H. rubra* se reportó una reducción del 5 % en peso de abulones expuestos a niveles crónicos de amonio de 0.7 - 1.5 mg NAT/L (Huchette *et al.*, 2003). Para el periodo de los 47 - 67 días de cultivo no existió diferencia en peso y talla de los abulones entre el sistema cerrado y el sistema abierto esto indicó que las condiciones de cultivo en los sistemas cerrados fueron adecuadas para los organismos en este periodo.

5.4 Tasa de crecimiento entre densidades

En el primer periodo de cultivo (0 – 46 días), los organismos cultivados a alta densidad tuvieron mayor tasa de crecimiento en talla que en peso, siendo este un comportamiento similar al reportado para juveniles de *H. rufescens* donde la densidad afectó únicamente su crecimiento en peso (Hunt *et al.*: 1995; Huchette *et al.*, 2003). La tasa de crecimiento en peso y talla en los periodos de cultivo 47 – 67 y 87 – 127 días fue mayor en los organismos cultivados a baja densidad, sin embargo en el periodo de 68 - 86 días se detectó una disminución en la tasa de crecimiento, y fue la baja densidad la más afectada. Estudios en diferentes especies de abulón reportan que el crecimiento es inversamente proporcional a la densidad de cultivo (Mgaya y Mercer, 1995; Capinpin. *et al.*, 1999; Valdés Urriolagoitia, 2000). En *H. rufescens* se reportaron diferentes tasas de crecimiento a diferentes densidades de cultivo: 2.2 mm/mes a 1.3 abulones/L, y 1.5 mm/mes a 2.5 abulones/L; 37.8 μ /día a 0.19 abulones/cm², 33.3 μ /día a 0.29 abulones/cm² y 19.44 μ /día a 0.41 abulones/cm² (Valdés Urriolagoitia, 2000; Spencer, 2002). En sistemas marinos

con jaulas se reportó que la tasa de crecimiento del abulón *H. discus hannai* depende de la densidad de cultivo, donde a mayor densidad (3,000 abulones/m²) menor tasa de crecimiento (70.2 µ/día y 11.1 mg/día) y menor densidad (1,000 abulones/m²) mayor tasa de crecimiento (83.9 µ/día y 15.0 mg/día), y esta relación fue independientemente de variaciones de temperaturas desde los 15 °C a 25 °C (Jee *et al.*, 1988).

La relación negativa entre el crecimiento y la densidad de cultivo en algunas especies sugiere que existe una competencia intraespecífica denso-dependiente por espacio y alimento (Parson y Dadswell, 1992; Huchette *et al.*, 2003). En este trabajo se alimentó con una gran cantidad de macroalga por lo que se obtuvo una tasa de crecimiento en talla promedio muy similar en ambas densidades que fue de 0.72 mm/mes y 0.75 mm/mes para D1 y D2 respectivamente, esta ausencia del efecto de la densidad en el crecimiento se observó también en *H. rubra* de 30 – 50 mm de talla (Huchette *et al.*, 2003). La tasa de crecimiento en talla obtenida en ambas densidades son mayor que 0.3 mm/mes reportada en *H. corrugata* cultivado a densidad de 2.5 abulones/L (Spencer, 2002). En el anexo en la Tabla A se reportan tasas de crecimiento individual por peso y talla entre los tres sistemas y las dos densidades.

5.5 Tasa de crecimiento entre sistemas

Las tasas de crecimiento en peso y talla de los abulones en el primer periodo de cultivo (0 – 46 días de cultivo) fueron mayores en el sistema abierto que en los sistemas cerrados, esto pudo deberse al estrés ocasionado por las drásticas fluctuaciones de temperatura registradas en este primer periodo en los sistemas cerrados, las cuales fueron para el S2 de 13.1 °C a 22.6 °C en un periodo de 15 días y en el S3 de 13.5 °C a 23 °C en un periodo de 14 días. En este periodo de

cultivo se registraron las concentraciones de NAT más altas en los sistemas cerrados por lo que pudieron contribuir a las bajas tasas de crecimiento. Harris *et al.* (1998) en *H. laevigata* y Basuyaux y Mathieu (1999) en *H. tuberculata* reportan un decremento en el consumo de alimento conforme la concentración de amonio se incrementaba. La tasa de crecimiento más alta registrada en los sistemas cerrados fue en el periodo de 47 - 67 días de cultivo, lo cual se relaciona con las temperaturas promedio más altas registradas en estos sistemas que fueron de 19.4 °C y 19.8 °C para S2 y S3 respectivamente (Tabla III). En el periodo de 67 – 86 días de cultivo se presentó una disminución en las tasas de crecimiento en peso y talla para todos los sistemas lo cual pudo deberse a errores de medición debido a fuertes vientos registrados durante la elaboración de la biometría. A lo largo del experimento, los abulones fueron removidos varias veces de las placas por lo que otro factor que pudo afectar el crecimiento de los abulones fue el estrés de manejo, ya que estos se adhieren fuertemente al sustrato y al desprenderlos, pueden causarse daño en los tejidos y mortalidad (Edwards *et al.*, 2000; Ragg *et al.*, 2000; Spencer, 2002). Otro factor que pudo ocasionar una disminución en la tasa de crecimiento en los tres sistemas de cultivo pudo ser la variación estacional del valor nutricional de la macroalga (Spencer, 2002). En el abulón *H. sorenseni* se presentaron tasas de crecimiento significativamente diferentes cuando estos fueron alimentados con *Palmaria mollis* (0.084 mm/día) y *Macrocystis pyrifera* (0.056 mm/día) (Demetropoulos y Langdon, 2004). En el periodo de 87 a 127 días de cultivo, el S1 presentó la mayor tasa de crecimiento en peso y talla lo cual puede estar relacionado con el registro de temperatura promedio mas alta de 18.6 °C registrada en este sistema. En el sistema cerrado S3 se registró la mayor tasa de crecimiento en peso de 0.055 g/día con respecto a todos los sistemas, sin embargo la mayor tasa de crecimiento en talla fue de 0.063 mm/día en el sistema abierto S1.

Las tasas de crecimiento en talla obtenida en los 127 días de cultivo fue de 1.02 mm/mes, 0.39 mm/mes y 0.51 mm/mes en los sistemas S1, S2 y S3 respectivamente siendo todas mayores a la tasa de crecimiento de 0.3 mm/mes reportada para esta especie (Spencer, 2002). Sin embargo, las tasas de crecimiento obtenidas en *H. corrugata* son menores comparadas con otras especies de abulón como *H. fulgens* (3.2 mm/mes), *H. rufescens* (2.2 mm/mes), *H. discus hannai* (1.9 mm/mes), *H. rubra* (1.8 mm/mes); o bien comparada con otros moluscos como *Mercenaria mercenaria* (4.44 mm/mes) (Kraeuter y Castagna, 2001; Spencer, 2002). En este trabajo, únicamente la tasa de crecimiento de *H. corrugata* registrada en el sistema abierto S1 fue mayor a la reportada para las especies de abulón *H. tuberculata* y *H. iris*, (0.8 mm/mes) (Spencer, 2002). Sin embargo, una granja de abulón requiere un crecimiento promedio de 2 – 3 mm /mes para alcanzar la talla de mercado de 70 – 80 mm en 3 años de cultivo (Spencer, 2002). La tasa de crecimiento que se obtuvo en este estudio en el sistema abierto es similar a la tasa de crecimiento de 1 mm/mes obtenida en la granja Productores Marinos Baja S.A. de C.V. en abulones de la especie *H. corrugata* (Comunicación personal Oc. José Enrique Vázquez Moreno), de igual manera estas tasas de crecimiento son similares a las 37.55 μ /día reportadas por Montaño - Vargas (2003) para organismos de *H. corrugata* de 10.7 mm de longitud.

5.6 Mortalidad entre densidades

En los periodos de cultivo, se observó que la mortalidad en número de abulones promedio por canasta siempre fue mayor en la densidad alta (30 % de cobertura de placa) respecto a la obtenida en la densidad baja (10 % de cobertura de placa). La densidad de cultivo influye directamente en la calidad de agua debido a que a mayor número de abulones mayor

concentración de amonio, ya que se ha estimado que juveniles de abulon de 20 – 80 mm presentan una tasa de excreción de amonio de 0.011 – 0.028 μmol de NAT/g de abulón/h (Ford y Langdon, 2000; Huchette *et al.*, 2003). En abulones cultivados en bajas densidades hay un aumento substancial de la actividad debido a que existe mayor espacio para el desplazamiento, por lo que es posible que estos secreten mayor cantidad de amonio (Capinpin *et al.*, 1999. Mgaya y Mercer (1995) en *H. tuberculata*, Capinpin *et al.* (1999) en *H. asinina* y Valdés - Urriolagoitia (2000) en *H. rufescens* reportan que la densidad de cultivo tuvo diferencia significativa en peso y talla, pero no en la sobrevivencia de los abulones, en este trabajo la mortalidad ocurrida en ambas densidades de cultivo fue similar, donde la diferencia en mortalidad entre la densidad alta y baja, fue de solo 1.95 %.

5.7 Mortalidad entre sistemas.

Diez días previos al inicio del experimento los abulones fueron anestesiados y tamizados por talla, y aunque el manejo de los abulones para su medición de peso y talla (biometría) no mostró un gran efecto en la tasa de crecimiento estos dos eventos consecutivos tuvieron un efecto directo en la mortalidad. Durante la primera biometría los abulones estuvieron expuestos al aire provocando mayor estrés y mortalidad (Spencer, 2002; Edwards *et al.*, 2000; Ragg *et al.*, 2000). Se observó que en el periodo inicial (0 – 46 días de cultivo) se presentaron las mayores mortalidades de 70, 34 y 118 abulones para los sistemas S1, S2 y S3 respectivamente. Estas mortalidades equivalen a 56.9%, 42.5% y 59.8% de la mortalidad total en S1, S2 y S3 respectivamente y son similar a los resultados obtenidos en juveniles de abulón de *H. discus hannai* cultivados en un sistema de recirculación, donde el 80% de la mortalidad se detectó

durante los primeros 70 días de cultivo (Nie *et al.*, 1996). En los siguientes periodos de cultivo, las mortalidades disminuyeron notoriamente en los tres sistemas, de igual manera disminuyó la temperatura y la concentración de amonio. En el experimento cuando la temperatura registrada fue mayor de los 20 °C, los abulones se desprendían de las placas y causaron altas mortalidades. Estas observaciones contrastan con las observaciones de Re - Araujo (2003), quien reportó 100% de sobrevivencia de juveniles de *H. corrugata* cultivados a salinidad de 35 g/L y temperatura óptima de crecimiento de 24.5 °C. Estas diferencias coinciden con lo reportado para *H. fulgens* por Medina - Romo (2002) quien reporta una temperatura óptima de crecimiento de 24.63 °C, y Montes - Margallón (2004) que observó mayor crecimiento y menor mortalidad a los 20 °C de temperatura. Es posible que *H. corrugata* sea mas sensible al NAT debido a que se registraron mayores mortalidades en los tres sistemas cuando las concentraciones de amonio fueron de 0.05 mg NAT/L en S1, 0.2 mg NAT/L en S2 y 0.3 mg NAT/L en S3, siendo estas concentraciones menores a 1 mg NAT/L reportada como concentración no letal para otras especies de abulón (Harris *et al.*, 1998; Basuyaux y Mathieu, 1999).

La sobrevivencia anual reportada para *H. corrugata* es de 74% (Spencer, 2002). En este estudio, el S1 y S2 (89.75% y 84.13% respectivamente) presentaron una sobrevivencia mayor. Sin embargo, la sobrevivencia del S3 fue del 71.7%, que es menor que la reportada por Spencer (2002). Cabe señalar que la mortalidad reportada de 74% para esta especie es con cultivo en sistema abierto. No se tienen reportes de sobrevivencia de abulón en sistema cerrado, por lo que el valor de S3 es menor comparable con el S2 pero mayor que 66 % y 63.4 % de sobrevivencia obtenida en juveniles de abulones *H. discus hannai* cultivados en sistema cerrado utilizando dos fuentes alternas de biofiltración (Nie *et al.*, 1996). En los dos sistemas cerrados utilizados en este estudio, se obtuvo una sobrevivencia mayor en el S2 con respecto al S3 debido probablemente a

que en este último sistema había 2 tanques de alta densidad, siendo esta la que presentó mayor mortalidad. La sobrevivencia en *H. corrugata* obtenida en este estudio en el sistema abierto y la reportada para esta especie es menor al 99% de sobrevivencia reportado para abulones mayores de seis meses de edad en seis meses de cultivo (Hahn, 1989). Para *H. tuberculata* cultivado en sistema de flujo continuo en un periodo de 226 días presentó una sobrevivencia de 98.3% (Mgaya y Mercer, 1995). En *H. rufescens*, a los 60 días de cultivo se obtuvo una sobrevivencia del 97% (Valdés - Urriolagoitia, 2000) y en *H. tuberculata* una sobrevivencia anual del 94 % (Spencer, 2002). Aunque también existen reportes de sobrevivencia anual muy variables dentro de la misma especie asociados a las diferentes condiciones de cultivo, tales como en *H. iris* de 70 - 80%, *H. fulgens* de 78 – 100% y *H. rufescens* de 39 – 96% (Spencer, 2002).

VI.- CONCLUSIONES

Se mostró en este experimento que es posible cultivar abulón amarillo *Haliotis corrugata* en sistema cerrado, y se obtuvieron tasas de crecimiento mayores a las reportadas para esta especie.

En este experimento, las mayores tasas de crecimiento y sobrevivencia del abulón amarillo *Haliotis corrugata* en el sistema cerrado, comparándolo con el sistema abierto, ocurrieron cuando las condiciones de cultivo fueron: temperatura de 18 - 20 °C, salinidad entre 32 - 35 g/L, alcalinidad > 100 mg de CaCO₃/L, concentraciones de nitrógeno amoniacal total <0.2 mg NAT/L y nitritos ≤ 0.2 mg/L.

La frecuencia e intensidad de retrolavado del biofiltro de esferas de polietileno, tuvo un efecto en los parámetros fisicoquímicos. Al aumentar la frecuencia e intensidad de los retrolavados aumentaron las concentraciones de nitrógeno amoniacal total y nitritos.

En este trabajo, la utilización de las conchas de abulon en los sistemas cerrados fue suficiente para mantener la alcalinidad a concentraciones mayores de 100 mg CaCO₃/L y sobrepasar las concentraciones de alcalinidad del sistema abierto.

La densidad de cultivo no afectó la tasa de crecimiento en peso y talla promedio de *Haliotis corrugata*, que fue de 0.017 g/día y 0.024 mm/día en 10% de cobertura de placa y 0.012 g/día y 0.025 mm/día en 30 % de cobertura de placa.

El sistema abierto fue significativamente mejor en tasa de crecimiento en peso y talla total que el sistema cerrado. La tasa de crecimiento para *Haliotis corrugata* en peso total fue en S1 (0.023 g/día), S2 (0.006 g/día) y S3 (0.008 g/día). La tasa de crecimiento para *Haliotis corrugata* en talla total fue en S1 (0.034 mm/día), S2 (0.013 mm/día) y S3 (0.017 mm/día).

La densidad no afectó significativamente la sobrevivencia total. La sobrevivencia total entre densidades fue en D1 (84.78 %) y en D2 (82.83 %). La sobrevivencia total por sistema de cultivo fue en S1 (89.75 %), S2 (84.13 %) y S3 (71.7 %).

VII.- RECOMENDACIONES

En el diseño y planeación del sistema cerrado para cultivar organismos marinos, es necesario incluir red de agua dulce, para reponer el agua de pérdida por evaporación. De igual manera hay que considerar la dilución del agua por lluvias si los volúmenes de agua a utilizar son bajos. Para que la nitrificación se realice adecuadamente en el biofiltro del sistema cerrado hay que evaluar la intensidad y frecuencia de los retrolavados desde el inicio del cultivo. El control de alcalinidad en el rango requerido para el funcionamiento de los biofiltros se puede realizar añadiendo conchas de abulones en cada tanque de compensación. Debido a que en este estudio la densidad de cultivo no afectó la tasa de crecimiento en peso y talla promedio, ni la sobrevivencia final, es recomendable realizar más experimentos con mayor cobertura de placa en sistemas cerrados. Para obtener mejores sobrevivencias es recomendable disminuir la manipulación de los abulones antes de una biometría. Para el cultivo del abulón sería recomendable estudiar tasas de recambio mayores al 4% del volumen total /día, en conjunto, probar diferentes diseños de tanque de cultivo con diferentes entradas y salidas de agua para facilitar la remoción de sólidos. Para mejorar el control de la temperatura y evitar variaciones de este parámetro fisicoquímico es necesario hacer un estudio para probar diferentes diseños de sistemas de recirculación incluyendo un análisis de costo – beneficio.

VIII.- BIBLIOGRAFIA

- Aviles, J.G.G. y S.A. Shepherd. 1996. Growth and survival of the blue abalone *H. fulgens* in barrel at Cedros Island, Baja California. *Aquaculture* 140: 169 – 176 p.
- Basuyaux, O. y M. Mathieu. 1999. Inorganic nitrogen and its effect on growth of the abalone *Haliotis tuberculata* Linnaeus and the sea urchin *Paracentrotus lividus* Lamarck. *Aquaculture* 174: 95 – 107 p.
- Capinpin, E.C., J.D. Toledo, V.C. Encena y M. Doi. 1999. Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture. *Aquaculture* 171: 227 – 235.
- Casas-Valdez, M.y G. Ponce-Diaz. 1999. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Volumen II. CIBNOR. México. 693 pp.
- Colt, J. y G. Bouck. 1984. Design of packed columns for degassing. *Aquacultural Engineering*. 3: 251 – 273 p.
- Cox, W. 1960. Review of the abalone in California. *Calif. Dept. Fish Game*. 46 (4): 381 p.
- Cox, W. 1962. California abalones, family Haliotidae. *Calif. Dept. Fish and Game. Fish. Bull.* 118 (1): 130 p.
- Cheng, W. Ch. H. Liu, S. Y. Cheng y J. C. Chen. 2004. Effect of dissolved oxygen on the acid-base balance and ion concentration of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta*. *Aquaculture* 231: 573 – 586 p.
- Day, R.W. y A.E. Fleming. 1992. The determinants and measurement of abalone growth. En: Sheferd, S.A., M.J. Tegner y S.A. Guzmán del Proo. *Abalone of the World, Biology, Fisheries and Culture*. Fishing New Books. Oxford. 141-168 p.
- Demetropoulos, C. y C. Langdon. 2004. Pacific dulse (*Palmaria mollis*) as a food and biofilter in recirculated, land-based abalone culture systems. *Aquaculture Engineering* 32: 57 – 75 p.

- Ebert, E., y J. Houk. 1984. Elements and innovations in the cultivation of red abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture* 39: 375-392 p.
- Edwards, S., C. Burke, S. Hindrum y D. Johns. 2000. Recovery and growth effects of anesthetic and mechanical removal on greenlip (*Haliotis laevis*) and blacklip (*Haliotis rubra*) abalone. Symposium Handbook. Fourth International Abalone Symposium- University of Cape Town, 6 – 11 February 2000. Cape Town, South Africa. 16 - 17 p.
- Finley, C.A., T.J. Mulligan y C. Friedman. 2001. Life history of an exotic sabellid polychaete, *Terebrasabella heterouncinata*: Fertilization strategy and influence of temperature on reproduction. *Journal of Shellfish Research* 20 (2): 883 – 888 p.
- Ford, E. y C.J. Langdon. 2000. Co-culture of dulse *Palmaria mollis* and red abalone *Haliotis rufescens* under limited flow conditions. *Aquaculture* 185: 137 – 158 p.
- Golz, W. J., K.A. Rusch y R. F. Malone. 1999. Modeling the major limitations on nitrification in floating-bead filters. *Aquaculture Engineering* 20: 43 – 61 p.
- Hach Company. 1997. *Water Analysis Handbook*. Tercera edición. Hach Company. Loveland, Colorado, USA. 1309 pp.
- Hagopian, D.S., y J.G. Riley. 1998. A closer look at the bacteriology of nitrification. *Aquaculture engineering* 18: 223 – 244 p.
- Hahn, K.O. 1989. *Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods*. CRC Press, Boca Ratón, FL. 348 pp.
- Harris, J.O., G.B. Maguire, S. Edwards y S. M. Hindrum. 1998. Effect of ammonia on the growth rate and oxygen consumption of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture* 160: 259 – 272 p.
- Harris, J.O., G.B. Maguire, S. Edwards y D. R. Johns. 1999. Low dissolved oxygen reduces growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture* 174: 265 – 278 p.

- Huchette, S.M. H., C.S. Koh y R.W. Day. 2003. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tanks: effects of density and ammonia. *Aquaculture* 219: 457 – 470 p.
- Huggins, D.L., R.H. Piedrahita y T. Rumsey. 2004. Analysis of sediment transport modeling using computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceways. *Aquaculture Engineering* 31: 277 – 293 p.
- Hunt, J.W., M.S. Foster, J.W. Nybakken, R.J. Larson y E.E. Ebert. 1995. Interactive effects of polyculture, feeding rate, and stocking density on growth of juvenile shellfish. *Journal of Shellfish Research* 14 (1): 191 – 197 p.
- Jee, Y. J., S.K. Yoo, S. Rho y S.H. Kim. 1988. The stocking density and growth of young abalone *Haliotis discus hannai* Ino cultured in hanging net cage. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency* 42: 59 – 69 p.
- Jeney, G., J. Nemesok, Z. Jeney y J. Olah. 1992. Acute effect of sublethal ammonia concentrations on common carp (*Cyprinus carpio*): Effect of ammonia on blood plasma transaminases (GOT, GPT), GDH enzymes activity and ATP value. *Aquaculture* 104: 149 – 156 p.
- Kraeuter, J.N. y M. Castagna. 2001. *Biology of the hard clam*. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands, 751 pp.
- Kawamura, T. Saido, T. Takami, y H. Yamashita. 1995. Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 194: 189-199 p.
- Leonard, N., J.P. Guiraud, E. Gasset, J.P. Cailleres y J.P. Blancheton. 2002. Bacteria and nutrients-nitrogen and carbon- in a recirculating system for sea bass production. *Aquaculture* 26: 111-127 p.
- Losordo, T.M., M. Masser y J. Rakocy. 1992a. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. An Overview of Critical Consideration*. Southern Regional Aquaculture Center No. 451. 6 pp.
- Losordo, T.M., J. Rakocy y M. Masser. 1992b. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. Component Options*. Southern Regional Aquaculture Center No. 453. 11 pp.

- Malone, R. F. y D. G. Burden. 1988. Critical Water Quality Parameters. Design of recirculating blue crab shedding systems. Department of Civil Engineering. Louisiana State University. Louisiana Sea Grant College Program (eds.). August 1988. Baton Rouge, LA. 8 – 21 p.
- Malone, R. F., K. A. Rush y J. M. Christensen. 1996. Design of recirculating crawfish system employing expandable granular biofilters. Successes and failures in comercial recirculating aquaculture. Aquacultural Engineering Society Proceedings 11, G. Libey and M. Timmons (eds.). July 19 – 21, 1996. Roanoke, Virginia. 467 - 480 p.
- Malone, R. F. y L. E. Beecher. 2000. Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warm water aquaculture production systems. Aquaculture Engineering 22: 57-73 p.
- Masser, M.P., J. Rakocy y T. M. Losordo. 1998. Recirculating aquaculture tank production systems. Southern Regional Aquaculture Center No. 452. 11 pp.
- Matlins, A.L. 1996. The Pearl Book. The Definitive Buying Guide. Gemstone Press. Woodstock, Vermont. USA. 198 pp.
- Medina – Romo, E. Z. 2002. Temperatura óptima de cultivo y temperatura crítica maxima del abulón azul *Haliotis fulgens*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. México. 62 pp.
- Mgaya, Y.D. y J.P. Mercer. 1995. The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. Aquaculture 136: 297-312 p.
- Montaño – Vargas, J.N. 2003. Dos razones carbohidratos: lípidos a tres niveles de proteína para lograr crecimiento optimo en el abulon *Haliotis corrugata* (Gray, 1828). Tesis de Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. México. 99 pp.
- Montes - Magallón S. 2004. Efecto de la temperatura y el fotoperíodo sobre el crecimiento, composición corporal y fisiología alimenticia de juveniles de abulón azul *Haliotis fulgens*,

- alimentados con una dieta balanceada. Tesis de Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. México. 45 pp.
- Moore, J.D., T.T. Robbins, R.P. Hedrick y C. Friedman. 2001. Transmission of the Rickettsiales-like prokaryotes "*Candidatus xenohaliotis californiensis*" and its role in whitering syndrome of California abalone, *Haliotis* spp. *Journal of Shellfish Research* 20 (2): 867 – 874 p
- Mozqueira, A. 1996. Site selection for land based abalone farming. Proceedings of the Abalone Aquaculture Workshop. En: Anthony Forster (Ed.). Aquaculture Development Council of Western Australia. September 1996. Albany, Western Australia. 17 - 21 p.
- Najmudeen, T.M. y A.C.C. Victor. 2004. Seed production and juvenile rearing of tropical abalone *Haliotis varia* Linnaeus 1758. *Aquaculture* 234: 277 – 292 p.
- Neori, A. N.L.C. Ragg y M. Shpigel. 1998. The integrated culture of seaweed, fish and clams in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquaculture* 17: 215 -239 p.
- Nie, Z.Q., M.F. Ji y J.P. Yan. 1996. Preliminary studies on increased survival and accelerated growth of overwintering juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture* 140: 177 – 186 p.
- Oakes, R. F. y Ponte D. R. 1996. The abalone market: Opportunities for cultured abalone. *Aquaculture* 140: 187-195 p.
- Park, M.E., S. Rho y C.B. Song. 1995. Density effect on the growth of juvenile abalones (*Haliotis discus hannai*) reared in the closed recirculating water system. *Bull. Mar. Res. Int. Cheju. Natl. Univ.* 19: 93 – 102 p.
- Parson, G.J. y M.J. Dadswell. 1992. Effect of stocking density on growth, production and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate culture in Passamaquoddy Bay, New Brunswick. *Aquaculture* 103: 291 – 309 p.

- Peck, L.S., M.M. Culley y M. Helm, 1987. A laboratory energy budget for the Ormer *Haliotis tuberculata*. L.J. exp. Mar. Biol. Ecol. 106: 103-123 p.
- Pfeiffer, T. 2004. System Design: Parallel or series flow. Aquaculture Engineerin Society. March/April 2004. Aquaculture Magazine 51 - 52 p.
- Ragg, N.L., H.H. Taylor y J. Behrens. 2000. Stress and weight loss associated with handling in the blackfoot abalone, *Haliotis iris*. Fourth International Abalone Symposium- University of Cape Town, 6 – 11 February. Cape Town, South Africa. 42 p.
- Re – Araujo, C.G. 2003. Temperatura preferida y critica máxima con dos niveles de salinidad en el abulón rosa *Haliotis corrugata*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. México. 40 pp.
- Salas, G.A.E. y R. Searcy. 1992. Desarrollo y estado actual del cultivo del abulón en México. En: Shepherd, S.A., M.J. Tegner y S.A. Guzmán del Proo (Ed.). Abalone of the World, Biology, Fisheries and Culture. Fishing New Books. Oxford. 538 - 546 p.
- Sandu, S.I., G.D. Boardman, B.J. Watten y B.L. Brazil. 2002. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. Aquaculture Engineering 26: 41 – 59 p.
- SAS User's Guide. 1985. Statistics. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute Inc.
- Sastry, B.N., A.A. De los Reyes, K.A. Rusch y R.F. Malone. 1999. Nitrification performance of a bubble-washed bead filter for combined solid removal and biological filtration in a recirculating aquaculture system. Aquaculture Engineering 19: 105 – 117 p.
- Sawa, N. 2000. A recirculating system for reproductive conditioning of abalone broodstock. Proceeding of 7th annual abalone aquaculture subprogram. Workshop. Nsw. Fisheries, 6 – October 2000. Australia. 31 – 32 p.
- Serviere, Z.E. 2000. Evaluación de macroalgas utilizadas como alimento en granjas de Abulón en la Península de Baja California Sur. Reunión Informativa. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Septiembre 2000. La Paz Baja California Sur, México. 1 - 8 p.

- Shulin, Ch., M.B. Timmons, D. J. Aneshansley y J.J. Bisogni. 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture* 112: 143-155 p.
- Simonel, I., G.D. Boardman, B.J. Watten y B.L. Brazil. 2002. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. *Aquacultural Engineering* 26: 41-59 p.
- Sokal, R. y F.J. Rohlf. 1979. *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H. Blume Ediciones, Barcelona. 845 pp.
- Spencer, B.E. 2002. *Molluscan Shellfish Farming*. Primera Edición. Oxford, UK. 274 pp.
- STATISTICA. 2000. *STATISTICA for Windows*. Tulsa, OK: Statsoft, Inc., 2300 East 14th street, Tulsa, OK 74104.
- Steinarsson, A. y A. K. Imsland. 2003. Size dependent variation in optimum growth temperatura of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture* 224: 353 – 362 p.
- Summerfelt, S.T., J. Davidson y T. Waldrop. 2003. Evaluation of full-scale carbon dioxide stripping columns in coldwater recirculating system. *Aquacultural Engineering* 28: 155 – 169 p.
- Timmons, M. B. y Losordo. 1997. *Advances in Aquaculture Engineering*. Proceeding from the aquaculture Engineering society. Technical sessions at the fourth international symposium on Tilapia in Aquaculture. November 9 – 12. Orlando, Florida. 197 – 208 p.
- Timmons, M. B. J Ebeling, F. Wheaton, S. Summerfelt y B. Vinci. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*. 2nd Edition. Northeastern Regional Aquaculture Center. Publication No. 01-002. Ithaca NY. USA. 769 pp.
- Tseng, K.F., H.M. Su y M.S. Su. 1998. Culture *Penaeus monodon* in a recirculating system. *Aquaculture* 17: 138-147 p.

- Tseng, K.F. y K.L. Wu. 2004. The ammonia removal cycle for a submerged biofilter used in a recirculating eel culture system. *Aquaculture Engineering* 31: 17 – 30 p.
- Tutschulte, T.C. 1976. The comparative ecology of three species of abalone (*Haliotis*) in southern California. *The Veliger* 23(3): 195-206 p.
- Valdés – Urriolagoitia, A.A. 2000. Efecto de tres densidades de cultivo en la sobrevivencia y crecimiento de juveniles de abulón rojo *Haliotis rufescens* en un laboratorio commercial. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. México. 52 pp.
- Van Gorden, S. 1991. Optimizing production by continuous loading of recirculating systems. A workshop proceeding design of high-density recirculating aquaculture systems. September 25-27. Louisiana State University. Baton Rouge, LA. 10-15 p.
- Van Rijn, J. 1996. The potencial for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture- a review. *Aquaculture* 139: 181 – 201 p.
- Vega, V.A., G. León y M. Muciño. 1994. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis* spp.) de la Península de Baja California, México. Documento interno SEPESCA/CIBNOR. 118 pp.
- Vivanco – Aranda, M. 2004. Relación entre el crecimiento y características genéticas del abulón en dos sistemas de cultivo. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada Baja California, México. 143 pp.
- Wheaton, F. 1991. Integrated aquaculture system design. A workshop proceeding design of high-density recirculating aquaculture systems. September 25-27. Louisiana State University. Baton Rouge, LA. 44 - 47 p.

ANEXO